

**Е. А. ЛЕОНТЬЕВ**

**НАДЕЖНОСТЬ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

**Е. А. Леонтьев**

**НАДЕЖНОСТЬ  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ  
СИСТЕМ**

Утверждено Ученым советом университета  
в качестве учебного пособия

Тамбов  
◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆  
2002

УДК 681.5:658  
ББК з83я73-1  
Л478

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор экономических наук, профессор ТГТУ  
*Б. И. Герасимов*

Доктор физико-математических наук,  
профессор ТГУ им. Г. Р. Державина  
*С. М. Дзюба*

Л478 Леонтьев Е. А. Надежность экономических информационных систем: Учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. 128 с.  
ISBN 5-8265-0190-1

В пособии рассмотрены вопросы оценки надежности различных составляющих экономических информационных систем (ЭИС): технической, технологической, информационной, эргономической и адаптивной. Дан анализ взаимосвязей: надежность и качество, надежность и эффективность ЭИС, приведены графические и аналитические модели для расчета количественных показателей надежности, справочные данные и методики оценки и анализа экономических показателей ЭИС.

Пособие предназначено для студентов 4 курса специальностей 0719, 3514 дневного обучения.

УДК 681.5:658  
ББК з83я73-1

ISBN 5-8265-0190-1

© Тамбовский государственный  
технический университет (ТГТУ), 2002  
© Леонтьев Е. А., 2002



УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

ЛЕОНТЬЕВ Евгений Алексеевич

**НАДЕЖНОСТЬ ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Редактор Т. М. Глинкина

Инженер по компьютерному макетированию М. Н. Рыжкова

ЛР № 020851 от 27.09.99

П<sub>лр</sub> № 020079 от 28.04.97

Подписано в печать 02.04.2002.

Гарнитура Times New Roman. Формат 60 × 84 / 16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем: 7,44 усл. печ. л.; 7,4 уч.-изд. л.

Тираж 50 экз. С. 130

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе экономического развития страны одной из важнейших, наиболее острых и неотложных проблем является качество и надежность продукции и работ (услуг). Немаловажное место в этой проблеме занимает повышение качества и надежности разработок в области создания экономических информационных систем (ЭИС), используемых в различных сферах деятельности: обработки данных, проектирования, научных исследований и т.п., поскольку от прогрессивности создаваемых проектов ЭИС в значительной мере зависит научно-технический прогресс.

Повышение качества и надежности разработок в области создания ЭИС – многогранная проблема. Она имеет социальный, экономический, научно-технический, организационно-технический и другие аспекты.

Социальный аспект проблемы заключается в необходимости своевременного приведения качества и надежности разработок в соответствие с постоянно ужесточающимися во всем мире требованиями, предъявляемыми потребителем к качеству продукции, которое в первую очередь определяется такими социальными факторами, как профессиональное мастерство и качество труда. Ужесточение требований сопровождается осознанной всеми необходимостью постоянного повышения качества, без чего невозможно достижение и поддержание эффективной экономической деятельности.

Экономический аспект проблемы повышения качества и надежности продукции и работ (услуг) определяется тем, что данная проблема является частью более общей проблемы – повышения эффективности общественного производства.

Научно-технический аспект проблемы обуславливается тем, что, с одной стороны, уровень качества разработок ЭИС зависит от достижений науки и техники, а также темпов внедрения достижений в различных сферах производственной и непроизводственной деятельности, а с другой – тем, что уровень качества и надежности разработок ЭИС определяющим образом влияет на темпы научно-технического прогресса.

Организационно-технический аспект проблемы повышения качества и надежности проектных разработок ЭИС определяется зависимостью ее решения от уровня организации общественного производства в целом, а также от конкретных организаций, выполняющих разработки проектов ЭИС.

Экономическая информационная система является уникальной системой для каждого отдельного объекта автоматизации и требует особого подхода к процессу разработки и внедрения. Сложность разработки, связанная с невозможностью экспериментальной проверки проектных решений до момента внедрения написанных и отлаженных компьютерных программ, а также полной отработки операций, выполняемых персоналом, требует тщательной проработки основных принципиальных решений – при проектировании и обеспечении возможности их дальнейшей корректировки в процессе функционирования. Это объясняется тем, что все ошибки проектирования подобных систем проявляются практически только при вводе системы в эксплуатацию. Учитывая, что система предназначена для осуществления сложных по структуре процессов, следует предусмотреть возможность ее адаптации, т.е. приспособление системы к изменению функционирования объекта управления (хозяйствующего объекта) под влиянием воздействий внешней среды или внутренних воздействий. В процессе создания необходимо включать в ЭИС современные формы организации и методы проектирования, средства вычислительной и организационной техники таким образом, чтобы не нарушалась непрерывность развития объекта автоматизации и создаваемые системы в дальнейшем модифицировались (расширялись, развивались), но не создавались заново. Опыт подсказывает, что это может быть достигнуто за счет интеграции в одну целостную систему процессов управления разработкой и внедрением ЭИС, за счет повышения качества и надежности этих процессов, а также процесса функционирования ЭИС.

## Глава 1 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

### 1.1 Понятия и определения теории надежности

Эффективность и качество автоматизированных экономических информационных систем (ЭИС) во многом предопределяются их надежностью, т.е. свойством системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях эксплуатации.

Исследованием данных свойств занимается специальная научная дисциплина – *теория надежности*, основные задачи которой – выявление причин возникновения отказов; моделирование и оценка безотказности, восстанавливаемости, долговечности и т.д.; определение направления повышения надежности; оптимизация надежности с учетом дополнительных затрат, связанных с повышением надежности, и потерь вследствие отказов.

Первые результаты рассматриваемой теории основывались на исследовании технических объектов. Однако в настоящее время все больше внимания уделяется изучению надежности информации (программ, данных), эргономического звена человеко-машинной системы. Поэтому немаловажное значение приобрели вопросы, связанные с развитием и совершенствованием не только методов оценки надежности, но и соответствующего понятийного аппарата и терминологии. В теории надежности все термины условно можно разделить на шесть основных групп (рис. 1.1): объекты; свойства; состояния; события; характеристики; объемно-временные параметры.

1 *Объекты*. В зависимости от цели исследования предметом изучения в теории надежности могут быть неделимые объекты – элементы и совокупности взаимосвязанных объектов – системы. Один и тот же объект в зависимости от условий исследования может рассматриваться и как элемент, и как система. Объекты могут иметь самую различную природу. Так, для ЭИС важнейшими объектами исследования являются техника, информация (программы, данные), человеческое звено системы. При этом не менее важным объектом исследования становятся выполняемые системой функции, реализация которых, как правило, связана с безотказной работой технических, программных, информационных, эргономических и других компонент.

2 *Свойства*. Надежность ЭИС является сложным (комплексным) свойством, которое в зависимости от назначения системы и условий ее применения описывается свойствами безотказности, ремонтно-пригодности, долговечности и сохраняемости.

Под *безотказностью* понимается свойство системы непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки. Она свойственна системе в любом из возможных режимов ее эксплуатации.

*Показатели безотказности*: вероятность безотказной работы, средняя наработка до отказа, гамма-процентная наработка до отказа, средняя наработка на отказ, интенсивность отказов, параметр потока отказов.

Под *ремонтпригодностью* понимается свойство системы, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Затраты времени определяются в заданных условиях выполнения операций технического обслуживания и ремонта, а также в части организации технологии ремонта, материально-технического обеспечения, квалификации персонала и т.д.

*Показатели ремонтпригодности*: вероятность восстановления работоспособного состояния, среднее время восстановления работоспособного состояния.

В ряде случаев показатели ремонтпригодности в нормативно-технической документации относятся к регламентируемым условиям ремонта.

*Долговечность* можно определить как свойство системы сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленном режиме технического обслуживания и ремонта. Система может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособной, если ее дальнейшее применение по назначению станет недопустимым по требованиям безопасности, экономичности, эффективности и безвредности. Возможен и другой случай, при котором система, перешедшая в неработоспособное состояние, может не достигнуть предельного состояния, если восстановление работоспособного состояния целесообразно и (или) допустимо.

*Показатели долговечности*: средний ресурс, гамма-процентный ресурс, назначенный ресурс, средний срок службы, гамма-процентный срок службы, назначенный срок службы.

*Сохраняемость* – свойство системы непрерывно сохранять установленные значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности в течение и после хранения и (или) транспортирования. Сохраняемость системы характеризуется ее способностью противостоять отрицательному влиянию условий и продолжительности хранения и транспортирования на ее безотказность, ремонтпригодность и (или) долговечность. Сохраняемость представляют в виде двух составляющих: одна из них проявляется во время хранения или транспортирования, другая – во время применения объекта после хранения и (или) транспортирования. Очевидно, что продолжительное хранение и транспортирование в необходимых условиях для многих объектов может отрицательно влиять на их поведение во время хранения или транспортирования, но и при последующем применении объекта, поскольку ее показатели могут оказаться значительно ниже, чем аналогичные показатели однотипных объектов, не находящихся на хранении и не подвергавшихся транспортированию.

*Показатели сохраняемости*: средний срок сохраняемости, гамма-процентный срок сохраняемости.

**3 Состояния.** Исправное состояние (исправность) – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации.

Неисправное состояние (неисправность) – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации.

Работоспособное состояние (работоспособность) – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации.

Неработоспособное состояние (неработоспособность) – состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или экономически нецелесообразно, либо восстановление его исправного и работоспособного состояния технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Каждое из рассмотренных состояний характеризуется совокупностью значений численных параметров или качественных признаков, для которых не применяют количественные оценки. Номенклатуру этих параметров и признаков, а также пределы их допустимых изменений устанавливают в нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации на объект.

Работоспособный объект в отличие от исправного должен удовлетворять лишь тем требованиям нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению.

Очевидно, что работоспособный объект может быть неисправным, например, не удовлетворять эстетическим требованиям, если ухудшение внешнего вида не препятствует применению объекта по назначению.

Переход объекта из исправного состояния в неисправное и из работоспособного в неработоспособное обычно происходит вследствие повреждения или отказа.

Если объект переходит в неисправное, но работоспособное состояние, это событие называют *повреждением*. Если объект переходит в неработоспособное состояние, это событие называют *отказом*.

Переход объекта в *предельное состояние* влечет за собой временное или окончательное прекращение его применения по назначению.

Различают два вида предельного состояния. Первый совпадает с неработоспособным состоянием объекта. Второй обусловлен тем обстоятельством, что, начиная с некоторого момента времени, дальнейшее применение по назначению пока еще работоспособного объекта согласно определенным критериям оказывается недопустимым в связи с опасностью, вредностью для здоровья людей или экономической нецелесообразностью этого использования. Переход объекта в предельное состояние второго вида происходит раньше, чем возникает отказ.

4 *События*. Отказ ЭИС – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта (отказ функции).

При классификации отказов применимы следующие термины и определения (ГОСТ 27.002-83).

*Независимый отказ* – отказ системы, не обусловленный отказом другой системы (подсистемы), входящей в структурный состав данной.

Классификация по признаку зависимости осуществляется при наличии (отсутствии) зависимости отказов определенного элемента данной системы от отказов других элементов. В таких случаях рассматриваемой системой является элемент, отказы которого зависят (или не зависят) от отказов элементов этой же системы, рассматриваемых также в качестве самостоятельных систем (объектов) в ЭИС.

*Внезапным отказом* является отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значений одного или нескольких основных (заданных) параметров системы.

*Постепенный отказ* – отказ, характеризующийся постепенным изменением значений одного или нескольких основных (заданных) параметров системы.

Заметим, что деление отказов на внезапный и постепенный условно в том смысле, что при эксплуатации системы всякому скачкообразному изменению параметра предшествует процесс постепенного изменения каких-либо других физических величин.

Внезапному отказу не предшествует направленное изменение какого-нибудь из наблюдаемых эксплуатационных параметров системы, в связи с чем прогнозирование момента возникновения внезапного отказа практически невозможно. Понятие внезапного отказа относительно в том смысле, что при более глубоком проникновении в сущность процессов, связанных с возникновением отказа, может появиться

возможность обнаружения таких постепенных изменений в системе или же ее элементах, которые закономерно предшествуют возникновению данного отказа, ранее относившегося к внезапным.

Постепенный отказ характеризуется наличием, по меньшей мере, тенденции или закономерности изменения заданного эксплуатационного параметра системы за время, предшествующее моменту возникновения отказа. Это обычно позволяет с заданной высокой вероятностью прогнозировать достаточно небольшой интервал времени, на котором следует ожидать возникновения постепенного отказа.

Следует отметить, что некоторые системы обладают способностью после некоторых отказов восстанавливать работоспособность. Отказы такого типа называют самоустраняющимися (или сбоями). Отказ одного и того же характера может возникать в системе несколько раз через относительно короткие интервалы времени. До того как причина этих отказов будет обнаружена, возникает несколько однородных отказов, определяемых как перемежающийся отказ.

*Перемежающийся отказ (сбой)* характеризуется как многократно возникающий самоустраняющийся отказ системы одного и того же характера.

Если отказ возникает в результате несовершенства или нарушения установленных правил и (или) норм конструирования (проектирования) системы, то такой отказ называют конструкционным.

Отказ, возникший в результате несовершенства или нарушения установленного процесса создания системы или ремонта ее технических средств, выполнявшегося ремонтным органом, относится к производственному отказу.

Если же отказ возникает в результате нарушения установленных правил и (или) условий эксплуатации системы, он считается эксплуатационным.

Заметим, что отказы относят к конструкционным, производственным или эксплуатационным с целью установления, на каком этапе жизненного цикла системы следует провести мероприятия, предупреждающие и устраняющие причины отказов.

Применительно к отказу рассматривают критерий, причину и последствия отказа функции ЭИС.

*Под критерием отказа* понимается признак или совокупность признаков, установленных в нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации и позволяющих определить наличие отказа в выполнении некоторой функции ЭИС.

Признаком отказа в выполнении некоторой функции системы является недопустимое изменение значений показателей работоспособности, т.е. выход значений параметров за пределы допуска, нарушение признаков нормальной работы (своевременности и достоверности решения задач) и т.д.

*Причина отказа* в общем случае может определяться как совокупность явлений, процессов, событий и состояний, обусловивших возникновение отказа системы или какого-либо из ее элементов. Причинами отказа могут быть дефекты, допущенные при проектировании, изготовлении и ремонте, нарушение правил и норм эксплуатации, различного рода повреждения, а также естественные процессы изнашивания и старения. Например, ошибочная установка оператором органов управления вычислительной системой может привести к несрабатыванию в нужный момент определенных устройств, т.е. произойдет эксплуатационный отказ этих устройств, не связанных с их повреждениями.

*К последствиям отказа* относятся явления, процессы, события и состояния, возникшие при отказе и находящиеся в непосредственной причинной связи с ним. Например, отказ ЭВМ и, как следствие, несоблюдение сроков решения задачи (комплекса задач).

**5 Характеристики.** При разработке ЭИС предусматривают выполнение или невыполнение технического обслуживания входящего в нее комплекса технических средств на протяжении всего срока их службы. Таким образом, все системы делят на технически обслуживаемые и технически необслуживаемые.

К обслуживаемым относятся такие системы, для которых проведение технического обслуживания предусмотрено в нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации и, соответственно, не предусмотрено для необслуживаемых систем.

Переход системы из неработоспособного состояния в работоспособное осуществляется с помощью операций восстановления или ремонта. К операциям восстановления в основном относят такие, с помощью которых осуществляются операции идентификации отказа (определение его места и характера), замены, регулирования и контроля технического состояния элементов системы и заключительных операций контроля работоспособности ЭИС в целом, предусмотренных в нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации.

Таким образом, восстанавливаемой системой можно считать такую, для которой в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-

технической и (или) проектно-конструкторской документации. Соответственно, для невозстанавливаемой системы проведение восстановления работоспособного состояния по техническим, экономическим или другим соображениям не предусмотрено в нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации.

Переход системы из предельного состояния в работоспособное осуществляется с помощью ремонта, при котором происходит восстановление ее ресурса. Поэтому системы делятся на ремонтируемые и неремонтируемые. К ремонтируемым относятся такие системы, для которых проведение ремонтов предусмотрено в нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации. Соответственно, неремонтируемыми являются системы, для которых проведение ремонтов не предусмотрено в нормативно-технической и (или) проектно-конструкторской документации.

Такое деление систем связано с возможностью восстановления их ресурса путем ремонта, что полностью обуславливается конструкцией систем, т.е. предусматривается и обеспечивается при их разработке и вводе в эксплуатацию.

6 *Объемно-временные параметры.* Работа системы может иметь непрерывный процесс (за исключением вынужденных перерывов, обусловленных возникновением отказа и ремонтом), а также предусматривать перерывы, не обусловленные изменением технического состояния системы. В любом случае продолжительность или объем работы системы является ее наработкой. Нарботка может измеряться в единицах времени или объема выполненной работы. Различают наработку до отказа и между отказами. Под *наработкой до отказа* понимается наработка системы от начала ее эксплуатации до возникновения первого отказа. Этот вид наработки рассматривается как для неремонтируемых (невозстанавливаемых), так и для ремонтируемых (восстанавливаемых) систем.

*Наработкой между отказами* является наработка системы от окончания восстановления ее работоспособности после отказа до возникновения следующего отказа. Эта наработка относится только к восстанавливаемым системам. Она определяется объемом работы, выполненной системой от  $i$ -го до  $(i + 1)$ -го отказа, где  $i = 1, 2, \dots$ .

Запас возможной наработки системы образует ее *ресурс*. Для неремонтируемых систем он совпадает с продолжительностью пребывания их в работоспособном состоянии в режиме применения по назначению, если переход в предельное состояние обусловлен только возникновением отказа. Для ремонтируемых систем ресурс представляет собой наработку системы от начала или возобновления ее эксплуатации (после ремонта определенного вида) до перехода в предельное состояние.

Понятие "срок службы" аналогично понятию "ресурс", но имеет более узкий смысл и выражается только в календарной продолжительности. Срок службы обычно измеряют в единицах времени.

Соотношение значений ресурса и срока службы одного и того же вида зависит от интенсивности использования как элементов системы, так и системы в целом.

Время восстановления работоспособного состояния представляет собой продолжительность восстановления работоспособного состояния элемента или системы в целом. Время восстановления отсчитывается либо непрерывно, либо из него по определенным признакам исключаются интервалы времени, не обусловленные непосредственно выполнением восстановительных работ. В связи с этим различается общее и оперативное время восстановления работоспособности элемента или системы.

## 1.2 Основные функции распределения вероятностей случайных величин

В теории надежности широкое применение находят методы теории вероятностей и математической статистики. Основным назначением этих методов является отыскание закона распределения случайной величины, который в свою очередь является полной характеристикой любой случайной величины, т.е. отражает соотношение между возможными значениями случайной величины и соответствующими этим значениям вероятностями.

При исследовании надежности используются различные формы задания распределения вероятностей случайных величин: интегральная функция (функция ненадежности) –  $F(X)$ ; дифференциальная функция (плотность) –  $f(X)$ ; обратная интегральная функция (функция безотказности) –  $P(X) = 1 - F(X)$ .

Функция интенсивности  $\lambda(X) = f(X)/P(X)$ .

Использование указанных функций рассмотрим на примере определения надежности элемента, работающего до первого отказа.

Пусть в момент  $t = 0$  элемент начинает работу, а в момент  $t = \tau$  происходит отказ. Предположим, что  $\tau$  – это случайная величина с законом распределения:

$$F(t) = P(\tau < t). \quad (1.1)$$

Интегральная функция отказа до момента  $t$ . Ее вероятность отказа определена из опыта, эксперимент: однородных элементов, отказа. Время  $t_0, t_i, \dots, t_N$ , регистрируется. Пусть  $(i = \overline{0, N})$ . Тогда

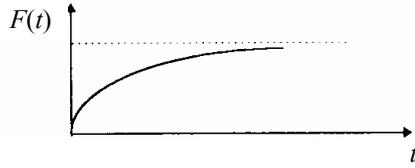


Рис. 1.2 Интегральная функция

функция  $F(t)$  отображает вероятность отказа элемента может быть приближенно для чего ставится следующий наблюдается работа большого числа  $N$  каждый из которых работает до момента в течение которого работал элемент, на момент  $t_i$  отказали  $n_i$  элементов

$$F(t_i) \approx n_i / N, \quad (1.2)$$

где  $n_i$  – число элементов, отказавших на интервале времени от  $t_0$  до  $t_i$ ;  $N$  – общее число элементов.

Дифференциальная функция характеризуется плотностью распределения отказов и определяется по формуле

$$f(t) = dF(t) / dt = -dP(t) / dt \quad (1.3)$$

или

$$f(t) = F(t),$$

т.е. является дифференциальной формой распределения отказов.

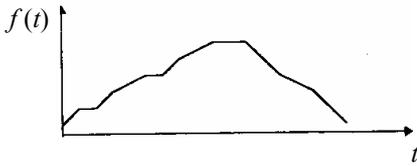


Рис. 1.3 Дифференциальная функция

График функции показан на рис. 1.3.

Приближенно плотность  $f(t)$  определяется по формуле

$$f(t) \approx n(t, t+h) / N_n, \quad (1.4)$$

где  $n(t, t+h)$  – число отказавших элементов на интервале времени от  $t$  до  $t+h$ ;  $N$  – общее число элементов;  $h$  – длина элементарного интервала времени.

Обратная интегральная функция, характеризующая вероятность безотказной работы  $P(t)$ , является функцией дополнительной к  $F(t)$ :

$$P(t) = 1 - F(t) = P(\tau > t). \quad (1.5)$$

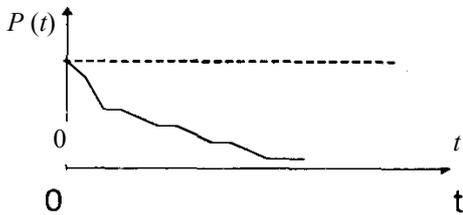


Рис. 1.4 Обратная интегральная функция

График функции  $P(t)$  показан на рис. 1.4.

Эмпирически функция безотказности определяется как

$$P(t_i) \approx m_i / N, \quad (1.6)$$

где  $m_i$  – количество элементов, сохранивших работоспособность на интервале времени от  $t_0$  до  $t_i$ ;  $N$  – общее число элементов.

Функция интенсивности (опасности) отказов определяется как отношение плотности распределения отказов объекта к его безотказности:

$$\lambda(t) = f(t) / P(t). \quad (1.7)$$

Статистически интенсивность отказов  $\lambda(t)$  приближенно равна отношению числа отказавших объектов  $n(t)$  в рассматриваемом интервале времени к среднему числу исправно работающих объектов  $\bar{N}(t)$  к началу интервала, умноженному на величину этого интервала  $h$ :

$$\lambda(t) \approx n(t) / \bar{N}(t) h. \quad (1.8)$$

Функция  $\lambda(t)$  оценивается по результатам испытаний (или эксплуатации) как вероятность отказа невосстанавливаемой системы (элемента) за единицу времени после рассматриваемого момента времени при условии, что отказ до этого момента не возник.

Для многих функций  $\lambda(t)$  имеет

Участок 1 известен "выжигания" дефектов "приработки" (в изготовлении и сбор-

Многочисленные большинство

котором постоянна (участок

можно принять, что  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ .

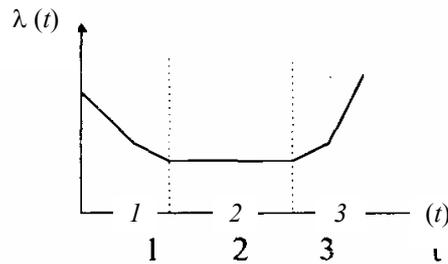


Рис. 1.5 Функция интенсивности отказов

практически важных случаев график вид, представленный на рис. 1.5

в теории надежности как период (в электронных схемах) или период ханических схемах). Он вызван дефектами ки.

опытные данные показывают, что элементов имеет длительный период, на интенсивность отказов  $\lambda(t)$  практически 2), т.е. для широкого класса элементов

Участок 3 отражает период физического "старения" объекта. В экономических информационных системах, оснащенных ПЭВМ, этот период обычно не наступает в связи с быстрым моральным старением.

### 1.3 Законы распределения времени безотказной работы системы

В большинстве случаев решение вопросов, связанных с обеспечением надежности, предполагает качественное и количественное изучение объектов исследования. Исследование в каждом конкретном случае специфики объектов на качественном уровне позволяет установить основные критерии отказов, причины их возникновения, пути повышения надежности и т.д. Решение этих задач невозможно без использования теории вероятностей, математической статистики, методов оптимизации. В частности, приемы и методы количественного анализа дают возможность исследования функций распределения вероятностей случайных величин и оценки их основных моментов и квантилей, проведения структурного анализа и моделирования систем и процессов.

В теории надежности используются следующие законы распределения времени безотказной работы (отказов) системы: экспоненциальный, нормальный, распределение Вейбулла, гамма-распределение, закон Пуассона.

Экспоненциальный закон обладает важным свойством: вероятность безотказной работы объекта на данном интервале времени  $(t, t + \tau)$  зависит не от времени предшествующей работы  $t$ , а только от длины интервала  $\tau$ . Действительно

$$P(t, t + \tau) = \frac{P(t + \tau)}{P(t)} = \frac{e^{-\lambda(t+\tau)}}{e^{-\lambda t}} = e^{-\lambda \tau}. \quad (1.9)$$

Пусть требуется определить вероятность того, что объект, проработавший время  $t_1$ , будет безотказно работать в течение последующего промежутка времени от  $t_1$  до  $t_2$ .

О б о з н а ч и м:  $P(t_1)$  — вероятность того, что объект безотказно проработал в интервале времени от 0 до  $t_1$ ;  $P(t_2)$  — вероятность того, что объект безотказно проработал в интервале времени от 0 до  $t_2$ ;  $P(t_1, t_2)$  — вероятность того, что объект, проработавший время  $t_1$ , будет безотказно работать в течение интервала времени от  $t_1$  до  $t_2$ .

Для того чтобы объект безотказно проработал от начала до момента  $t_2$ , необходимо, чтобы произошло два простых события: он должен без отказов проработать время  $0 + t_1$  и время  $t_1 + t_2$ . Вероятность сложного события определяется по теореме умножения вероятностей независимых событий:

$$P(t_2) = P(t_1) P(t_1, t_2), \quad (1.10)$$

откуда условная вероятность  $P(t_1, t_2)$  равна

$$P(t_1, t_2) = P(t_2) / P(t_1). \quad (1.11)$$

Вероятность отказа на интервале времени  $(t_1, t_2)$  равна

$$F(t_1, t_2) = 1 - P(t_1, t_2) = \frac{P(t_1) - P(t_2)}{P(t_1)}. \quad (1.12)$$

Положим теперь  $t_2 = t_1 + \Delta t$  и устремим  $\Delta t$  к нулю. Тогда

$$F(t_1, t_1 + \Delta t) = \frac{P(t_1) - P(t_1 + \Delta t)}{P(t_1)} = -\frac{P'(t)}{P(t)} \Delta t + o(\Delta t). \quad (1.13)$$

Учитывая, что

$$\lambda(t) = -P'(t) / P(t), \quad (1.14)$$

при малом  $\Delta t$  имеем

$$F(t_1, t_1 + \Delta t) \approx \lambda(t_1) \Delta t. \quad (1.15)$$

Уравнение (1.14) является линейным дифференциальным уравнением 1-го порядка. Решая его относительно функции безотказности  $P(t)$ , получим

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (1.16)$$

Из формулы (1.16) следует, что вероятность безотказной работы объекта на интервале  $(t_1, t_2)$  равна

$$P(t_1, t_2) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt}. \quad (1.17)$$

При  $\lambda = 1/\bar{t}$

$$P(t) = e^{-\frac{t}{\bar{t}}}, \quad (1.18)$$

где  $\bar{t}$  – среднее время безотказной работы объекта.

Обычно этот закон выполняется тогда, когда отказы объектов независимы, случайны во времени и носят внезапный характер. Для большинства объектов данный закон проявляется при установившемся режиме эксплуатации ( $\lambda = \text{const}$ ). Этому закону подчиняется также хорошо организованный процесс восстановления.

*Закон нормального распределения* случайных величин находит широкое применение при оценке надежности ЭИС. Модели нормального распределения описывают плотность вероятности отказа и вероятность отказа объекта за время  $t$ . Плотность вероятности отказа равна

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(t-T)^2 / 2\sigma^2}, \quad (1.19)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение времени работы объекта;  $T$  – среднее время исправной работы объекта до отказа;  $t$  – заданное время работы объекта.

Вероятность отказа объекта за время  $t$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-(t-T)^2 / 2\sigma^2} dt. \quad (1.20)$$

Нормальное распределение часто применяется при оценке надежности объектов, подверженных действию старения и износа. Этот закон наблюдается при постепенных отказах как электрических, так и механических объектов. Он широко используется при анализе безотказности сложных систем с учетом ухода параметров за допустимые пределы.

*Распределение Вейбулла* используется при оценке надежности элементов технического и программного обеспечения системы. Основными характеристиками для данного распределения являются:

- плотность вероятности отказа

$$f(t) = \lambda_0 \alpha t^{\alpha-1} e^{-\lambda_0 t^\alpha}; \quad (1.21)$$

где  $\lambda_0$  и  $\alpha$  – параметры закона распределения;

- вероятность безотказной работы элемента за время  $t$

$$P(t) = e^{-\lambda_0 t^\alpha}. \quad (1.22)$$

При  $\alpha = 1$  функция распределения Вейбулла совпадает с экспоненциальным распределением.

Кроме указанных характеристик, можно также определить интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \alpha \lambda_0 t^{\alpha-1}. \quad (1.23)$$

При  $\alpha < 1$  интенсивность отказов будет монотонно убывающей функцией, при  $\alpha > 1$  – монотонно возрастающей. Это обстоятельство дает возможность подбирать для опытных данных наиболее подходящие значения параметров  $\lambda_0$  и  $\alpha$ , с тем чтобы уравнение функции распределения наилучшим образом совпадало со значениями опытных данных.

Распределение Вейбулла имеет место при отказах системы, возникающих в результате износа и старения элементов, а также при отказах системы, состоящей из последовательно соединенных дублированных элементов.

*Гамма-распределение* ( $\gamma$ -распределение) – это распределение случайной величины с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах. Находит свое применение при оценке надежности системы "человек-техника", где источником отказов является человек.

Если отказ системы возникает тогда, когда произойдет не менее  $k$  отказов ее элементов, а отказы элементов подчинены экспоненциальному закону с параметром  $\lambda_0$ , то плотность вероятности отказа системы за время  $t$  равна

$$f(t) = \frac{\lambda_0 t^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\lambda_0 t}, \quad (1.24)$$

где  $\lambda_0$  – исходная интенсивность отказов элементов системы, отказ которой вызывается отказом  $k$  ее элементов.

Вероятность отказа системы, т.е. вероятность не менее  $k$  отказов ее элементов равна

$$F(t) = 1 - P(n > k) = 1 - \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(\lambda_0 t)^n}{n!} e^{-\lambda_0 t}. \quad (1.25)$$

При  $k = 1$   $\gamma$ -распределение совпадает с экспоненциальным распределением.

Гамма-распределению подчиняется время работы резервированных устройств.

*Закон Пуассона.* Когда отказы системы (или элемента) независимы между собой, то вероятность возникновения  $n$  отказов за время  $\tau$  равна

$$P(\tau) = \frac{(\lambda \tau)^n}{n!} e^{-\lambda \tau}, \quad (1.26)$$

где  $\lambda$  – интенсивность возникновения случайного события (отказа);  $e$  – основание натурального логарифма ( $e = 2,718\dots$ ).

Закон Пуассона используется тогда, когда необходимо определить вероятность того, что в системе за данное время произойдет один, два, три и т.д. отказов.

Таким образом, законы распределения случайных величин являются объектом исследования при анализе надежности систем и их элементов. Поэтому, прежде чем приступить к инженерным методам расчета надежности систем, необходимо рассмотреть закономерности, которым подчиняются эти системы (элементы).

Допустим, что в результате испытаний некоторого элемента (или системы) получены статистические данные, отражающие одну из трех характеристик надежности  $P(t)$ ,  $F(t)$ ,  $f(t)$ , например функцию безотказности  $P(t)$ . Чтобы надежность данного элемента (или системы) можно было исследовать анали-

тически, для эмпирической функции  $P(t)$ , выраженной обычно в табличном виде, подбирают аналитический эквивалент из числа стандартных функций, приведенных выше.

Выбор аналитической функции осуществляется по критерию согласия. Обычно на практике используется критерий согласия Пирсона (критерий  $\chi^2$  – хи-квадрат).

Схема применения критерия  $\chi^2$  сводится к следующему:

- 1) на основе опытных данных выбирается закон распределения изучаемого признака (например, вероятности отказа) и находятся его параметры;
- 2) определяются теоретические  $\omega_i^t$  и эмпирические  $\omega_i^e$  частоты. Если среди эмпирических (опытных) частот имеются малочисленные, их необходимо объединить с соседними таким образом, чтобы число наблюдений в каждом интервале было не меньше пяти;
- 3) вычисляется величина  $\chi^2$  по формуле

$$\chi^2 = N \sum (\omega_i^e - \omega_i^t)^2 / \omega_i^t, \quad (1.27)$$

где  $N$  – число испытаний.

Пусть она оказалась равной  $\chi_0^2$ .

Определяется вспомогательная величина  $r$

$$r = k - (S + 1), \quad (1.28)$$

где  $k$  – число интервалов (после объединения);  $S$  – число параметров распределения:

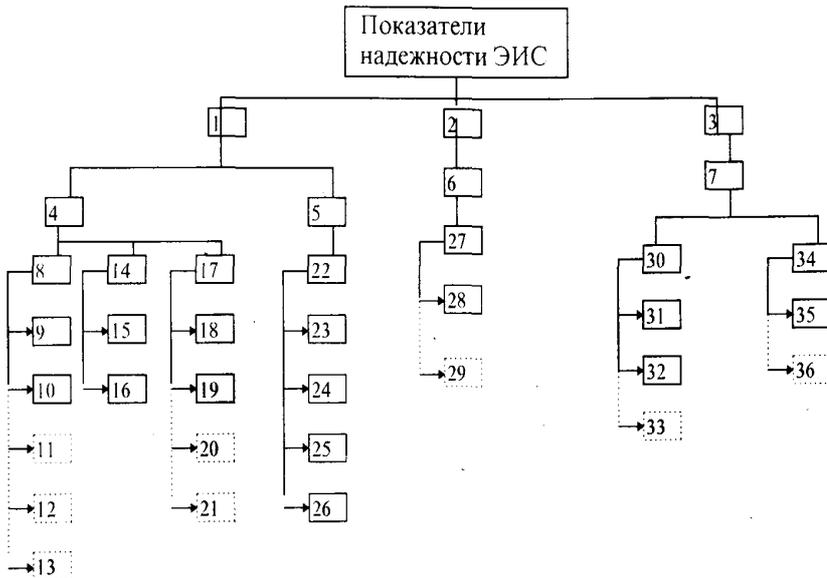
- 4) по таблице значений  $\chi^2$  для полученных значений  $\chi_0^2$  и находится вероятность  $P(\chi_0^2)$ . Если вероятность  $P(\chi_0^2)$  окажется больше 0,01, то следует считать несущественными имеющиеся расхождения между теоретическими и опытными частотами, а распределение – согласующимся с теоретическим. В противном случае, т.е. если  $P(\chi_0^2) < 0,01$ , указанные расхождения признаются неслучайными, а избранный закон распределения отвергается.

#### 1.4 Показатели надежности ЭИС

Широкое применение в теории надежности нашли различные численные показатели надежности. Каждый из показателей надежности количественно характеризует, в какой степени конкретной системе присущи определенные свойства, обуславливающие ее надежность. Показатель надежности может иметь размерность (например, средняя наработка на отказ) или не иметь ее (например, вероятность безотказной работы). В качестве показателей надежности ЭИС используются показатели, характеризующие надежность реализации функций системы, опасность возникновения в системе аварийных ситуаций.

Отметим также, что для оценки надежности ЭИС по непрерывно выполняемым функциям (Н-функции) и дискретно выполняемым функциям (Д-функции) используются различные показатели надежности.

При рассмотрении показателей следует различать единичные и комплексные показатели надежности (рис. 1.6). Единичные показатели количественно характеризуют только одно свойство надежности системы и определяются либо как математическое ожидание (показатели 11, 15, 18, 19, 30), либо как значения прямой и обратной интегральных функций распределения для фиксированных значений времени (показатели 10, 16, 27, 28, 31, 32, 34, 35), либо как числовые характеристики случайных величин – квантили (показатели 20, 21).



\_\_\_\_\_ – основные; ..... – допускаемые показатели

**Рис. 1.6 Классификация показателей надежности ЭИС:**

1 – по непрерывно выполняемым функциям (Н-функции); 2 – по дискретно выполняемым функциям (Д-функции); 3 – по аварийным ситуациям; 4, 7 – единичные показатели надежности; 5, 6 – комплексные показатели надежности; 8 – показатели безотказности; 9 – средняя наработка системы на отказ в выполнении  $i$ -й функции (средняя наработка на отказ  $i$ -й ФП ЭИС) –  $T_{\lambda i}$ ; 10 – вероятность безотказного выполнения системой  $i$ -й функции (вероятность безотказной работы  $i$ -й ФП ЭИС) в течение заданного времени  $\tau$  –  $P_i(\tau)$ ; 11 – средняя наработка системы до отказа в выполнении  $i$ -й функции (средняя наработка до отказа  $i$ -й ФП ЭИС) –  $T_i$ ; 12 – параметр потока отказов системы в выполнении  $i$ -й функции (параметр потока отказов  $i$ -й ФП ЭИС) –  $\Omega_i$ ; 13 – интенсивность отказов системы в выполнении  $i$ -й функции (интенсивность отказов  $i$ -й ФП ЭИС) –  $\lambda_i$ ; 14 – показатели ремонтпригодности; 15 – среднее время восстановления способности системы к выполнению  $i$ -й функции после отказа (среднее время восстановления  $i$ -й ФП ЭИС) –  $T_{\mu i}$ ; 16 – вероятность восстановления в течение заданного времени  $\tau$  способности системы к выполнению  $i$ -й функции после отказа (вероятность восстановления  $i$ -й ФП ЭИС) –  $F_{\beta i}(\tau)$ ; 17 – показатели долговечности; 18 – средний ресурс  $i$ -й подсистемы ЭИС (ЭИС в целом) –  $T_{pi}$ ; 19 – средний срок службы  $i$ -й подсистемы ЭИС (ЭИС в целом) –  $T_{ci}$ ; 20 – гамма-процентный ресурс  $i$ -й подсистемы ЭИС (ЭИС в целом) –  $T_{jpi}$ ; 21 – гамма-процентный срок службы  $i$ -й подсистемы ЭИС (ЭИС в целом) –  $T_{jci}$ ; 22, 26 – показатели безотказности и ремонтпригодности; 23 – коэффициент готовности системы к выполнению  $i$ -й функции (коэффициент готовности  $i$ -й ФП ЭИС) –  $K_r$ ; 24 – коэффициент эксплуатационной надежности системы при выполнении  $i$ -й функции (коэффициент эксплуатационной надежности  $i$ -й ФП ЭИС) –  $K_{эни}$ ; 25 – коэффициент технического использования системы по  $i$ -й функции (коэффициент технического использования  $i$ -й ФП ЭИС) –  $K_{тни}$ ; 27 – коэффициент сохранения эффективности системы по  $i$ -й функции (коэффициент сохранения эффективности  $i$ -й ФП ЭИС) –  $K_{эф i}$ ; 28 – вероятность успешного выполнения системой заданной процедуры при поступлении запроса (вероятность успешного выполнения заданной процедуры  $i$ -й ФП ЭИС) –  $L_i$ ; 29 – вероятность успешного выполнения  $n$  последовательно поступающих запросов –  $L_i(n)$ ; 30 – показатели, характеризующие опасность возникновения аварийной ситуации в течение некоторого заданного интервала времени нормального функционирования системы; 31 – средняя наработка системы до возникновения в ней  $j$ -й аварийной ситуации при нормальных условиях функционирования ЭИС –  $T_{abj}$ ; 32 – вероятность возникновения в системе  $j$ -й аварийной ситуации в течение заданного времени  $\tau$  при нормальных условиях функционирования ЭИС –  $Q_j(\tau)$ ; 33 – вероятность отсутствия (невозникновения) в системе  $j$ -й аварийной ситуации в течение заданного времени  $\tau$  при нормальных условиях функционирования ЭИС –  $P_j(\tau)$ ; 34 – показатели, характеризующие опасность возникновения аварийной ситуации в результате воздействия на систему внешнего экстремального факто-

ра;  $35$  – вероятность возникновения в системе  $j$ -й аварийной ситуации в результате воздействия  $S$ -го экстремального воздействующего фактора  $\Phi_S - Q_j \{ \Phi_S \}$ ;  $36$  – вероятность отсутствия (невозникновения) в системе  $j$ -й аварийной ситуации в результате воздействия  $S$ -го экстремального воздействующего фактора  $\Phi_S - P_j \{ \Phi_S \}$

Следует отметить еще такие широко распространенные показатели безотказности, как интенсивность отказов и параметр потока отказов системы (показатели  $12$  и  $13$ ). Они определяются условной плотностью вероятности возникновения отказа, соответственно восстанавливаемой или невосстанавливаемой системы или ее элемента для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник. Примерами единичных показателей могут служить: наработка на отказ ЭВМ, характеризующая ее безотказность; гамма-процентный ресурс печатающего устройства до капитального ремонта и т.д.

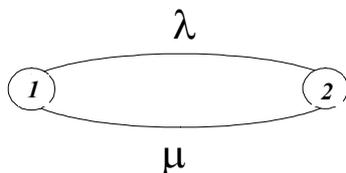
На основе единичных показателей надежности разработан и используется также ряд комплексных показателей, каждый из которых характеризует одновременно несколько свойств (не менее двух), составляющих надежность системы. Например, безотказность и ремонтпригодность. К таким показателям относятся  $23, 24, 25, 27, 28$ .

Коэффициент готовности системы к выполнению  $i$ -й функции (коэффициент готовности  $i$ -й функциональной подсистемы ЭИС) представляет собой вероятность того, что система ( $i$ -я ФП ЭИС) окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение ее по назначению не предусматривается. Он определяется по формуле

$$K_{ги} = \frac{T\lambda_i}{T\lambda_i + T\mu_i} \quad (1.29)$$

Этот показатель характеризует готовность восстанавливаемой системы к применению по назначению только в отношении ее работоспособности и, следовательно, означает вероятность застать систему ( $i$ -ю ФП ЭИС) в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, причем этот момент времени не может быть выбран в тех интервалах, где применение системы исключено.

Выведем формулу коэффициента готовности при следующих предположениях: 1) функции безотказности и восстанавливаемости системы соответствуют экспоненциальному закону с интенсивностью отказов  $\lambda$  и интенсивностью восстановления  $\mu$ ; 2) система может находиться в двух состояниях: работоспособности (1) и ремонта (2). Размеченный граф состояний рисунке



На основании данного графа можно определить вероятности состояний работоспособности  $P_1(t)$  и ремонта  $P_2(t)$ . Для этого составим систему дифференциальных уравнений, описывающую данный процесс в соответствии со следующим инженерным правилом: в левой части уравнения записывается производная вероятности  $i$ -го состояния, а в правой части столько членов, сколько стрелок связано с данным состоянием. Если стрелка направлена в данное состояние, то ставится плюс, если из данного состояния – минус. Каждый член равен интенсивности соответствующего потока событий ( $\lambda$  или  $\mu$ ), переводящего систему по данной стрелке, умноженной на вероятность того состояния, из которого исходит стрелка.

Используя данное правило, получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} P_1'(t) = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t); \\ P_2'(t) = \lambda P_1(t) - \mu P_2(t). \end{cases} \quad (1.30)$$

Для стационарного процесса, когда восстановления происходят, вероятности  $P_1'(t)$  и  $P_2'(t)$  становятся постоянными величинами, а их первые производные равными нулю. Рассматривая граф состояний с точки зрения входа (знак +) и выхода (знак -), учтем также, что  $P_1 + P_2 = 1$ . Тогда мы переходим от системы дифференциальных уравнений к системе алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} -\lambda P_1 + \mu P_2 = 0; \\ P_1 + P_2 = 1. \end{cases} \quad (1.31)$$

Решая эту систему, получим

$$P_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu}. \quad (1.32)$$

$$\text{Так как} \quad \mu = 1/T_B; \quad (1.33)$$

$$\lambda = 1/T, \quad (1.34)$$

где  $T_B$  – среднее время восстановления;  $T$  – среднее время между отказами,

$$K_r = \frac{T}{T + T_B}. \quad (1.35)$$

Рассмотренный математический аппарат может быть использован и при определении характеристик надежности (коэффициента эксплуатационной надежности, коэффициента технического использования системы и др.).

Коэффициент эксплуатационной надежности выполнения  $i$ -й функции (коэффициент эксплуатационной надежности  $i$ -й функциональной подсистемы ЭИС) представляет собой произведение коэффициента готовности системы к выполнению  $i$ -й функции (ФП ЭИС) на вероятность безотказного выполнения системой  $i$ -й функции (ФП ЭИС) в течение заданного времени

$$K_{Энi} = K_{гi} P_i(\tau), \quad (1.36)$$

и используется для расчета технической и программной составляющих надежности.

Коэффициент технического использования системы по  $i$ -й функции (коэффициент технического использования  $i$ -й функциональной подсистемы ЭИС) представляет собой отношение математического ожидания интервалов времени пребывания системы ( $i$ -й ФП ЭИС) в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени ее пребывания в работоспособном состоянии, простоев, обусловленных техническим обслуживанием, и ремонтов за тот же период эксплуатации:

$$K_{тнi} = \frac{T_{\lambda i}}{T_{\lambda i} + T_{\mu i} + T_{\tau oi} \eta_{\tau oi}}, \quad (1.37)$$

где  $T_{\tau oi}$  – средняя продолжительность одного сеанса технического обслуживания системы по  $i$ -й функции ( $i$ -й ФП ЭИС);  $\eta_{\tau oi}$  – коэффициент интенсивности технического обслуживания системы по  $i$ -й функции ( $i$ -й ФП ЭИС)

$$\eta_{\tau oi} = \frac{r_{\tau oi}(t)}{r_{\sigma i}(t)}, \quad (1.38)$$

где  $r_{\tau oi}(t)$  – число сеансов обслуживания за время  $t$ ;  $r_{\sigma i}(t)$  – среднее число отказов системы по  $i$ -й функции ( $i$ -й ФП ЭИС) за время  $t$ .

Коэффициент технического использования характеризует долю времени нахождения системы в работоспособном состоянии относительно рассматриваемой продолжительности эксплуатации. Период эксплуатации, для которого определяется этот показатель, должен, как правило, содержать все виды технического обслуживания и ремонтов. Коэффициент технического использования учитывает затраты на плановые и неплановые ремонты.

Коэффициент сохранения эффективности системы по  $i$ -й функции (коэффициент сохранения эффективности  $i$ -й функциональной подсистемы ЭИС) представляет собой степень влияния отказов элементов системы на эффективность ее применения по назначению:

$$K_{Эфi} = \frac{W_i(T)}{W_{pi}(T)}, \quad (1.39)$$

где  $W_i(T)$  – значение показателя эффективности системы по  $i$ -й функции ( $i$ -й ФП ЭИС) за определенную продолжительность эксплуатации  $T$ ;  $W_{pi}(T)$  – номинальное значение показателя эффективности сис-

темы по  $i$ -й функции ( $i$ -й ФП ЭИС) при условии, что отказы системы в течение периода эксплуатации  $T$  не возникают.

В данном случае под эффективностью системы понимается ее свойство создавать некоторый полезный результат (выходной эффект) в течение заданного периода эксплуатации в определенных условиях.

Эффективность как свойство системы характеризуется соответствующими показателями. Показатель эффективности – показатель, характеризующий выполнение системой ее функций. Он определяется количеством полезной работы: переработанной информацией, переданной информацией, вероятностью выполнения поставленной задачи и т.д.

В идеальном случае система выполняет свои функции (создает определенный выходной эффект) при отсутствии отказов. Реальный выходной эффект определяется с учетом реальной надежности системы.

Показатель вероятности успешного выполнения системой заданной процедуры при поступлении запроса (вероятность успешного выполнения заданной процедуры  $i$ -й функциональной подсистемы ЭИС) определяют для каждой Д-функции отдельно с учетом установленных для процедуры условий и параметров.

Статистически вероятность успешного выполнения заданной процедуры можно определить как отношение числа успешных реализаций заданной процедуры к общему числу запросов на выполнение этой процедуры, поступивших за некоторый интервал времени в реальных условиях функционирования системы.

В общем случае вероятность успешного выполнения заданной процедуры определяется надежными свойствами элементов (ТС, ПО и персонала)  $i$ -й ФП ЭИС, выполняющей заданную процедуру. Если предположить, что успешное функционирование ТС ФП, ПО ФП и персонала ФП при выполнении заданной процедуры – события независимые, то вероятность успешного выполнения заданной процедуры  $L_i$  определяют выражением

$$L_i = L_{тci} L_{поi} L_{пи} , \quad (1.40)$$

где  $L_{тci}$  – вероятность успешного функционирования технических средств  $i$ -й ФП ЭИС;  $L_{поi}$  – вероятность успешного функционирования программного обеспечения  $i$ -й ФП ЭИС;  $L_{пи}$  – вероятность успешного функционирования персонала  $i$ -й ФП ЭИС.

Если в понятие успешного выполнения процедуры входят условие работоспособности ТС ФП в момент поступления запроса и непрерывное сохранение этого состояния в течение интервала времени  $\Delta t$ , в котором вероятностью отказа ТС ФП можно пренебречь, то

$$L_{тci} = K_{ги} ; \quad (1.41)$$

$$L_{тci} = K_{тпи} . \quad (1.42)$$

Подчеркнем еще раз, что используемые показатели надежности системы являются либо непосредственно числовыми характеристиками случайных величин, определяющих ту или иную составляющую надежности, либо некоторой комбинацией числовых характеристик этих случайных величин. Если рассматривать эти показатели не как изолированные величины, а как носители информации о законе распределения определенной случайной величины, то вопрос о выборе числа показателей для каждой составляющей надежности получает достаточно простое и четкое решение.

Известно, что для однозначного определения закона распределения, относящегося к некоторому типу (экспоненциальное, нормальное, распределение Вейбулла, гамма-распределение), необходимо задать столько независимых чисел, сколько параметров имеет этот тип закона распределения. Этими числами могут быть, в частности, числовые характеристики распределения, т.е. показатели некоторой составляющей надежности. Таким образом, выбор числа показателей некоторой составляющей надежности связывается с числом параметров того типа закона распределения, к которому относится распределение определяющей эту составляющую надежности случайной величины. Так, например, если известно, что случайная величина  $T$  подчиняется нормальному закону распределения, который, как известно, относится к двухпараметрическим законам, то свойство безотказности системы целесообразно задавать двумя показателями, например, средней наработкой на отказ  $T_0$  и вероятностью безотказной работы в пределах заданного интервала времени  $P(t)$ . Если случайная величина  $T_b$  системы подчинена экспонен-

циальному распределению, являющемуся однопараметрическим, то очевидна бесполезность использования более одного численного показателя ремонтпригодности, т.е. все показатели, кроме одного, будут неинформативными, поскольку могут быть легко вычислены на его основе.

Такой достаточно общий, но строгий подход может применяться по отношению к любой составляющей надежности. Однако, во-первых, в настоящее время предъявляются различные требования к полноте описания различных составляющих надежности систем. Во-вторых, не для всех составляющих надежности в достаточной степени изучены типы законов распределения соответствующих случайных величин.

Рассмотренный выше подход достаточно широко применяется при выборе числа показателей безотказной работы. Реже такой же подход используется при выборе числа показателей ремонтпригодности. Это связано с тем, что пока лишь для небольшой номенклатуры таких элементов, как технические средства, считается необходимым задавать распределение  $T_B$ . Что же касается такой составляющей надежности, как долговечность, то в настоящее время знание всего закона распределения случайных величин  $T_{ci}$ ,  $T_{pi}$  и др. во всем интервале от 0 до  $\infty$  не считается необходимым. В связи с этим для описания каждой из этих составляющих выбирается один показатель (редко два), и выбор этот не связывается с типом закона распределения соответствующей случайной величины.

Одной из причин такого подхода, по-видимому, можно считать то обстоятельство, что законы распределения  $T_{ci}$ ,  $T_{pi}$  и др. для многих элементов ЭИС пока еще мало исследованы. Ряд теоретических предпосылок говорит о том, что эти распределения близки к нормальному и гамма-распределениям, однако имеющихся экспериментальных данных пока недостаточно.

## 1.5 Надежность взаимосвязанных элементов системы

Реальные объекты в большинстве случаев состоят из совокупностей взаимосвязанных элементов. При этом связь между элементами может быть не только физической или технической, но и в смысле надежности.

Пусть система состоит из  $n$  элементов, функции безотказности которых обозначим через  $p_1(t)$ ,  $p_2(t)$ , ...,  $p_n(t)$ . Предположим, что элементы отказывают независимо друг от друга, т.е. отказ любого элемента не изменяет надежности других элементов. Выразим функцию безотказности всей системы  $P(t)$  через функции безотказности элементов  $p_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ).

Рассмотрим сначала случай последовательного соединения элементов. Элементы в системе соединены последовательно в смысле надежности, если отказ любого элемента вызывает отказ всей системы в целом.

Для безотказной работы системы в течение времени  $t$  необходимо, чтобы каждый элемент работал безотказно в течение этого времени. Так как элементы независимы в смысле надежности, то

$$P(t) = p_1(t) p_2(t) \dots p_n(t). \quad (1.43)$$

Выразим функции безотказности через интенсивности (опасности) отказов:

$$e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\int_0^t \lambda_1(t) dt} \dots e^{-\int_0^t \lambda_n(t) dt}. \quad (1.44)$$

Откуда

$$\lambda(t) = \lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \dots + \lambda_n(t), \quad (1.45)$$

т.е. при последовательном соединении интенсивности (опасности) отказов складываются. В частности, для экспоненциального закона, когда  $\lambda_i = \text{const}$ , где  $i = \overline{1, n}$ ,

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n, \quad (1.46)$$

$$P(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t}. \quad (1.47)$$

Таким образом, безотказность системы, так же как и безотказность отдельного элемента, подчиняется экспоненциальному закону.

Рассмотрим теперь случай параллельного соединения элементов. Элементы соединены в системе параллельно в смысле надежности, если отказ системы наступает только тогда, когда откажут все входящие в систему элементы.

Поскольку элементы между собой независимы, то вероятность отказа системы  $Q(t)$  равна произведению вероятностей отказов элементов  $q_i$ :

$$Q(t) = q_1(t) q_2(t) \dots q_n(t). \quad (1.48)$$

В частности, когда все элементы равнонадежны:

$$Q(t) = q^n(t) = (1 - p(t))^n; \quad (1.49)$$

$$P(t) = 1 - q^n(t) = 1 - (1 - p(t))^n. \quad (1.50)$$

Таким образом, если безотказность каждого элемента подчиняется экспоненциальному закону, то безотказность системы уже не будет подчиняться этому закону, как в случае последовательного соединения.

Параллельно соединенные элементы могут быть включены и нагружены (нагруженный резерв), только включены (облегченный резерв) и не включены и не нагружены (ненагруженный резерв).

Рассмотрим теперь случай смешанных (последовательно-параллельных) соединений элементов в системе, имеющей наибольшее практическое значение. В этом случае для расчета надежности системы последнюю расчлняют (условно) на отдельные группы последовательно или параллельно соединенных элементов, не имеющие общих элементов. Определяется надежность каждой из групп как отдельные элементы, оцениваются, а затем рассматривается надежность системы в целом.

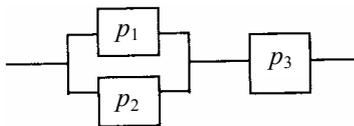


Рис. 1.7

*Пример.* Пусть требуется оценить надежность системы, состоящей из трех элементов, представленной на рис. 1.7.

1 Расчлняем систему на две последовательно соединенные группы элементов: первая группа (элементы 1, 2), вторая группа (элемент 3). Надежность системы  $P_c$  представим в виде

$$P_c = p_{1,2} p_3.$$

2 Первая группа состоит из двух элементов, параллельно соединенных, поэтому ее надежность выражается через вероятности отказов элементов:

$$p_{1,2} = (1 - q_{1,2}) = 1 - q_1 q_2.$$

3 Подставляя  $p_{1,2}$  в предыдущую формулу и выражая  $q$  через  $(1 - p)$ , получим

$$P_c = [1 - (1 - p_1)(1 - p_2)] p_3.$$

Положение математической логики о том, что любая логическая функция может быть представлена операциями дизъюнкции, конъюнкции и отрицания, позволяет утверждать следующее: любая структурная схема расчета может быть представлена набором последовательных и параллельных соединений, т.е. при моделировании можно ограничиться только рассмотренными типами соединений. Однако в некоторых случаях бывает удобно использовать и более сложные структуры – скользящий резерв, треугольник, звезду, мостик, иерархию и т.д. Аналитические модели для этих структур можно найти в соответствующих справочниках.

## 1.6 Марковские процессы в теории надежности

Изучение процессов перехода элементов ЭИС из одного независимого состояния в другое при исследовании вопросов, связанных с их надежностью, может быть основано на марковских процессах [2].

Марковским процессом называется такой случайный процесс  $\xi(t)$ , отличительное свойство которого заключается в том, что при известном значении  $\xi(t_1)$  случайные величины  $\xi(t)$  при  $t > 1$  не зависят от значений  $\xi(U)$ , вычисленных при любых  $U \leq t_1$ .

Другими словами, предполагается, что при известном настоящем будущее не зависит от прошлого.

С точки зрения общей теории случайных процессов марковские процессы относятся к классу случайных без последействия. Особенностью таких процессов является возможность их представления, с одной стороны, в виде обобщенной математической модели системы (подсистемы) с независимо работающими элементами, а с другой – в виде моделей, позволяющих учитывать зависимость существующего состояния системы (подсистемы) от его предшествующего состояния, что очень важно для ЭИС, в которых отказы отдельных элементов могут быть локализованы посредством применения аппаратного, функционального, временного, программного и других видов резервирования. Иными словами, состояние системы описывается числом ее работоспособных элементов.

В зависимости от природы пространства состояний  $n$  и временного параметра  $t$  марковские процессы классифицируются следующим образом.

*Марковские процессы, дискретные в пространстве состояний  $n$  и во времени  $t$ .*

В таких процессах переходы из одного состояния в другое совершаются через дискретные, равные друг другу промежутки времени.

Пусть некоторая сложная физическая система в каждый момент времени может находиться в одном из  $n$  состояний  $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$  и переходить в другое состояние в некоторые моменты времени  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_n$ . Тогда протекающий в ней процесс переходов будет марковским (без последействия), для которого будущее развитие системы зависит только от ее состояния в настоящий момент  $t_0$  и не зависит от того, каким образом и когда система пришла в это состояние.

Заметим, что предположение о марковском характере переходов в ЭИС является абстрактным. Однако есть, по крайней мере, два существенных обстоятельства для обоснования этого предположения. Во-первых, процесс обслуживания осуществляется только в случае простейшего потока требований. Во-вторых, время выполнения операций по обслуживанию подчиняется показательному закону распределения.

Следует иметь в виду, что процессы, происходящие в системе, можно рассматривать как процессы с дискретными состояниями, если имеется счетное (конечное) множество возможных состояний  $\{X_i\}$  этой системы и переход из одного состояния в другое осуществляется скачком. Образующая при этом последовательность прерывных случайных величин, не обладающих свойством последействия, будет называться *простой цепью Маркова*.

В качестве примера марковского процесса, дискретного в пространстве состояний и во времени, рассмотрим модель функционирования вычислительной системы в ЭИС, состоящей из двух вычислительных комплексов ЭВМ, включенных по схеме дублирования с кратностью единица. Причем обе машины включены, но для решения задач используется только одна. Ремонт производится сразу же после возникновения отказа любой из ЭВМ. Профилактическое обслуживание осуществляется после  $t$  часов наработки при условии, что одна из ЭВМ находится в рабочем состоянии, а вторая – в состоянии резерва. При ремонте или профилактическом обслуживании одной машины отказ другой приводит к отказу всей системы.

Предположим, что процесс перехода системы из состояния в состояние может быть описан марковским процессом. Для рассматриваемой вычислительной системы важными характеристиками, которые можно определить из математической модели, являются среднее время простоя системы, распределение времени простоя, режим рационального обслуживания системы и т.д.

Графическая модель возможных состояний и переходов такой системы представлена на рис. 1.8. Здесь состояния системы изображены кружками и обозначены цифрами от 0 до 8, возможные переходы – стрелками. Рассматриваются девять возможных состояний. Например, если система находится в состоянии 0, то это означает, что первая ЭВМ используется в качестве основной для решения задач, во время как вторая ЭВМ находится в резерве. Если в течение времени  $t$ , измеряемого с момента перехода системы в данное состояние, не произошло ни одного отказа, то производится профилактическое обслуживание первой ЭВМ и система попадает в состояние 1. Интерпретируя аналогично состояния 2, 3 и

т.д., можно утверждать, что переходы происходят при отсутствии отказов в системе. Если первая ЭВМ отказывает, когда вторая находится на профилактике или в ремонте, то система переходит в

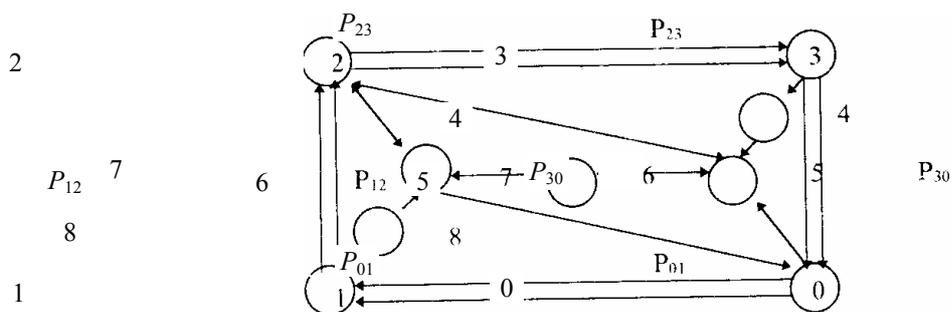


Рис. 1.8 Граф возможных состояний и переходов вычислительной системы

состояние отказа. Возле стрелок указаны вероятности переходов из одного ( $i$ -го) состояния в другое ( $j$ -е), равные  $P_{ij}$ . Эти вероятности играют важную роль в исследовании марковских процессов. Под вероятностью перехода (переходной вероятностью) понимается условная вероятность  $P_{ij}(\Delta t)$  того, что через время  $\Delta t$  будет занято  $j$  каналов, если вначале (в момент времени  $t_0$ ) было занято  $i$  каналов.

Полная информация о возможных изменениях состояний системы задается матрицей вероятностей переходов (переходных вероятностей) марковской цепи

$$P = \left| P_{ij} \right| = \begin{vmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0n} \\ P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1n} \\ \dots & \dots & P_{ij} & \dots \\ P_{n0} & P_{n1} & \dots & P_{nn} \end{vmatrix}. \quad (1.51)$$

Матрица переходных вероятностей является стохастической, т.е.

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = 1 \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n), \quad (1.52)$$

причем

$$0 < P_{ij} < 1. \quad (1.53)$$

Условия (1.51) и (1.52) отражают тот факт, что процесс, находящийся в момент  $t$  в состоянии  $i$ , перейдет в одно из допустимых состояний в момент  $t + \Delta t$  с вероятностью 1.

Рассмотрим событие  $A$  – пребывание системы в состоянии  $X_i$ , например  $X_2$  – событие  $A_2$  (см. рис. 1.8). Пребывание системы в состоянии  $X_2$  в момент  $t + \Delta t$  является событием сложным. Оно может наступить только одновременно с одним из следующих простых событий: нахождение системы в момент  $t$  в состоянии  $X_0$  – событие  $A_0$  либо в состоянии  $X_1$  – событие  $A_1$  и, наконец, в состоянии  $X_2$  – событие  $A_2$ .

Можно записать, что

$$A_2 = A_0 A_{02} + A_1 A_{12} + A_2 A_{22}, \quad (1.54)$$

где  $A_{02}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_{22}$  – события, состоящие в том, что за время  $\Delta t$  система перейдет из состояния, соответствующего первому индексу, в состояние, соответствующее второму индексу. Например, если в течение времени  $\Delta t$ , измеряемого с момента попадания системы в данное состояние, не произошло ни одного отказа, то производится профилактическое обслуживание первой ЭВМ и система попадает в состояние  $X_1$ .

На основании теорем сложения и умножения вероятностей получим

$$P(A_2) = P(A_0) P(A_2/A_0) + P(A_1) P(A_2/A_1) + P(A_2) P(A_2/A_2) \quad (1.55)$$

или

$$P_2(t + \Delta t) = P_0(t) P_{02}(\Delta t) + P_1(t) P_{12}(\Delta t) + P_2(t) P_{22}(\Delta t). \quad (1.56)$$

Обозначив через  $P_i(t)$  вероятность того, что в момент времени  $t$  в системе занято  $i$  каналов (при  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ ), определим полную вероятность того, что в момент времени  $t + \Delta t$  в системе занято  $k$  каналов:

$$P_k(\Delta t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) P_{ik}(\Delta t). \quad (1.57)$$

Из-за малости приращения  $\Delta t$  вероятность перехода  $P_{ik}(\Delta t)$  является условной вероятностью перехода, т.е. вероятностью того, что наступит хотя бы одно событие, переводящее систему из состояния  $i$  в состояние  $k$ :

$$P_{ik}(\Delta t) = 1 - e^{-\lambda_{ik}\Delta t} \cong \lambda_{ik}\Delta t + 0(\Delta t). \quad (1.58)$$

Вероятность  $P_{ii}(\Delta t)$  есть вероятность того, что при нахождении системы в состоянии  $X_i$  не наступило ни одного события, определяющего переход системы из одного состояния в любое другое:

$$P_{ii}(\Delta t) = 1 - \sum_{k=1}^{n-i} P_{i, i+k}(\Delta t). \quad (1.59)$$

Учитывая (1.57), получим

$$P_{ii}(\Delta t) = 1 - \sum_{k=1}^n \lambda_{ik}(\Delta t) + 0(\Delta t). \quad (1.60)$$

Если переходные вероятности не зависят от момента  $\Delta t$ , т.е.  $P_{ij}(\Delta t) = P_{ij}$ ;  $i, j = 0, 1, 2, \dots$ , то цепь Маркова называется однородной, а переходные вероятности – стационарными.

*Марковские процессы, дискретные в пространстве состояний  $n$  и непрерывные во времени  $t$*   
Теперь перейдем к рассмотрению процесса, переходы в которых совершаются через случайные промежутки времени.

Случайный процесс называется марковским с конечным или счетным множеством состояний, непрерывным во времени, если переход системы из одного состояния в другое возможен в любой момент времени  $t$ , а вероятность  $P_k(t_0, t_1)$  перехода системы из состояния  $n_i$  в момент  $t_0$  в состояние  $n_k$  в момент  $t_1 > t_0$  не зависит от поведения системы до момента  $t_0$ .

Вероятность  $P_j(t)$  того, что система в момент  $t$  будет находиться в одном из возможных состояний  $j$  при заданном начальном распределении вероятностей  $P_i(0)$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , вычисляется по формуле

$$P_j(t) = \sum_i P_i(0) P_{ij}(t), \quad j = 1, 2, \dots, \quad (1.61)$$

где  $P_{ij}(t)$  удовлетворяет соотношению

$$P_{ij}(t+n) = \sum_k P_{ik}(t) P_{kj}(n),$$

$$i, j = 1, 2, \dots; \quad P_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } i = j; \\ 0 & \text{при } i \neq j. \end{cases} \quad (1.62)$$

Примерами таких марковских процессов являются многочисленные задачи теории массового обслуживания [2].

*Марковские процессы, непрерывные как в пространстве состояний  $n$ , так и во времени  $t$*

Эти процессы используются для изучения диффузионных процессов, отличительным свойством которых является изменение состояний протекания процесса на протяжении любого малого промежутка времени  $\Delta t$ .

В основе изучения диффузионных процессов лежат уравнения А. Н. Колмогорова, в которых неизвестными являются переходные вероятности (для обратного уравнения) и плотность переходных вероятностей (для прямого уравнения) [7].

Из всех классов случайных процессов марковские наиболее исследованы как в теоретическом отношении, так и в прикладном.

В последнее время марковские процессы широко используются для анализа сложных систем различного назначения.

## 1.7 Специфика ЭИС как объекта исследования надежности

Эффективное использование рассмотренного в предыдущих разделах математического аппарата при исследовании ЭИС предполагает учет специфических особенностей данного класса систем: сложный жизненный цикл, наличие компонентов различной природы, многофункциональность.

Специфический жизненный цикл ЭИС, включающий стадию создания и циклически выполняемые для отдельных функций систем стадии функционирования и модернизации, предполагает необходимость управления адаптивностью систем как неотъемлемой частью их надежности.

Современные ЭИС, включая в себя большое количество разнородных элементов (технику, программы, информацию, человеческое звено), в значительной степени отличаются как по характеру отказов, так и по приемам и методам их обнаружения и устранения. Так, появление ошибок в информации имеет стохастическую природу (существует некоторая вероятность возникновения ошибки). Характер же программных ошибок явно детерминированный. Данное обстоятельство предопределяет возникновение двух дополнительных проблем при исследовании надежности ЭИС: 1) разработка специальных приемов и методов обеспечения надежности с учетом специфических особенностей соответствующих компонентов системы; 2) комплексная оценка надежности систем, включающих компоненты разной природы.

Важной особенностью ЭИС является их многофункциональность. Для подобного типа систем отказ какой-либо отдельной функции не приводит к отказу всей системы, а лишь уменьшает эффективность ее функционирования. Следовательно, обеспечение надежности ЭИС неразрывно связано с необходимостью моделирования и оценки их эффективности как отдельных функций, так и систем в целом.

Из вышесказанного следует, что для обеспечения необходимого уровня надежности ЭИС требуется проведение комплекса работ, которые должны выполняться на разных стадиях жизненного цикла системы.

*На предпроектной стадии* организацией-заказчиком совместно с организацией-разработчиком осуществляются работы по определению требуемого уровня надежности ЭИС и созданию средств автоматизации проектирования системы. В состав этих работ входят:

- сбор данных о режимах и условиях работы объекта управления, о существующей системе технического обслуживания и ремонтов на объекте управления, о составе и организации работы персонала, обеспечивающего ремонт и эксплуатацию комплекса технических средств (КТС) ЭИС и программного обеспечения (ПО) ЭИС, о надежности и материально-техническом обеспечении ресурсами объекта управления, о надежности технических средств, которые предполагают использовать в ЭИС;

- анализ полученных данных и определение предварительных требований к надежности ЭИС;
- анализ функций разрабатываемой (модернизируемой) ЭИС, составление перечня тех функций и видов их, а также (если это необходимо) перечня тех аварийных ситуаций в ЭИС, для которых будут нормироваться требования к надежности, здесь же осуществляются выбор критериев отказов для указанных функций и видов их отказов, выбор показателей надежности и предварительная оценка надежности ЭИС;

- определение требований к надежности ЭИС, которые затем вносятся в техническое задание на ЭИС. Здесь же осуществляется выбор и обоснование методов оценки надежности системы на дальнейших стадиях ее создания;

- создание средств автоматизации проектирования ЭИС. Для работ этой стадии характерным является то, что количественное описание, анализ, оценка и обеспечение надежности проводят по каждой функции ЭИС в отдельности, но с учетом уровня надежности технических, программных и эргатических элементов.

Следует отметить, что перечень функций и видов их отказов, по которым задаются требования к надежности конкретной ЭИС, а также критерии этих отказов устанавливает заказчик этой системы по согласованию с ее разработчиком и вносит в ТЗ на ЭИС. Для установления критериев отказов составляют перечень признаков или параметров, по которым может быть обнаружен факт возникновения каждого отказа. При необходимости определяются количественные (критериальные) значения этих пара-

метров. Если для некоторой функции ЭИС определено несколько видов отказов, которые существенно различаются по причинам возникновения или по вызываемым ими последствиям, то надежность (безотказность и ремонтпригодность) по этой функции задается отдельно по каждому виду отказов. Требуемые численные значения выбранных показателей надежности ЭИС (в виде требований к надежности) устанавливаются по определенным критериям на основе анализа влияния отказов системы на эффективность ее функционирования, а также затрат, связанных с обеспечением надежности, включая удорожание обслуживания.

Установление требований к надежности конкретной разрабатываемой ЭИС состоит в основном в выборе состава (номенклатуры) показателей, используемых для количественного списания надежности свойств системы, а также в определении требуемых числовых значений (норм) этих показателей. Показатель надежности выбирают для каждой функции системы и для каждого вида их отказов и аварийных ситуаций. В связи с этим состав показателей надежности определяют на основе включенных в ТЗ на ЭИС перечней функций, видов их отказов и тех аварийных ситуаций, для которых следует устанавливать требования к надежности.

Исходными данными для определения обоснованных требований к надежности ЭИС являются:

- виды и критерии отказов по всем рассматриваемым функциям системы;
- уровень эффективности по всем функциям системы и величины ущербов по всем видам отказов (ориентировочно);
- состав технических, программных и эргатических элементов, участвующих в выполнении каждой функции системы (ориентировочно) для каждой функциональной подсистемы ЭИС и связанных с ними затрат (ориентировочно);
- величины ущербов, связанных с возникновением возможных в ЭИС аварийных ситуаций (ориентировочно);
- возможные пути снижения опасности возникновения аварийных ситуаций и связанные с ними затраты (ориентировочно).

Предварительную оценку надежности ЭИС на дальнейших стадиях ее создания, функционирования и модификации допускается производить аналитическими методами, методами вероятностного моделирования, комбинированными и экспертными методами.

После того, как техническое задание и "Программа обеспечения надежности разрабатываемых (модернизируемых) ЭИС" сформированы, их в установленном порядке согласовывают и утверждают.

Работы по созданию средств автоматизации проектирования ЭИС осуществляются, как правило, специализированными научно-исследовательскими организациями. Эффективность затрат на создание таких средств тем выше, чем более широко организовано их использование. Однако в любом случае, при оценке эффективности системы с народнохозяйственных позиций, затраты, осуществляемые на данном этапе, должны быть распределены между системами, разработанными на основе соответствующего средства автоматизации проектирования.

На стадии проектирования ЭИС организацией-разработчиком работы по достижению требуемого уровня надежности системы проводятся в два этапа.

*Первый этап ("Технический проект")* включает в себя следующие работы:

- анализ надежности различных вариантов построения ЭИС (предполагаемых составов КТО, ПО и персонала ЭИС), а также ориентировочная проектная оценка надежности перспективных вариантов системы;
- сравнение вариантов ЭИС и выбор предпочтительного варианта критерия надежности, а также проектная оценка надежности системы с учетом надежности свойств КТС, ПО и персонала ЭИС по выбранному варианту;
- подготовка исходных данных и проведение предварительных расчетов параметров технического обслуживания, одиночного комплекта запасных элементов, состава и квалификации персонала, обеспечивающего ремонт и эксплуатацию КТС и ПО системы;
- анализ влияния уровня надежности различных вариантов ЭИС на показатели экономической эффективности системы;
- разработка требований к надежности новых (модернизируемых) технических и программных средств и оперативно-диспетчерского оборудования, разрабатываемых специально для данной системы;
- выбор окончательного варианта ЭИС с учетом надежности и разработка требований к надежности КТС и ПО системы.

При проведении указанных выше работ по достижению требуемого уровня надежности ЭИС необходимо учитывать следующие основные факторы:

- состав и уровень надежности используемых технических средств, их взаимосвязи в надежностной структуре КТС ЭИС;
- состав и уровень надежности используемых программных средств, их содержание (возможности) и взаимосвязи в структуре ПО ЭИС;
- уровень квалификации персонала, организацию работы и уровень надежности действий персонала ЭИС;
- рациональность распределения задач, решаемых системой, между КТС, ПО и персоналом ЭИС;
- режимы, параметры и организационные формы технической эксплуатации КТС ЭИС;
- степень использования различных видов резервирования (структурного, информационного, функционального, программно-алгоритмического, временного);
- степень использования методов и средств технической диагностики;
- реальные условия функционирования ЭИС.

Что касается свойств математического, лингвистического, метрологического, организационного, правового обеспечений ЭИС, то в соответствии с ГОСТ 24.701-86 будем считать, что они влияют на надежность системы только косвенно, через функционирование технических и программных средств, а также персонала ЭИС, и поэтому при решении вопросов, связанных с надежностью системы, отдельно не учитываются.

*На втором этапе ("Рабочий проект")* осуществляется уточнение данных о надежности технических средств, выбранных для окончательного варианта ЭИС. На их основе осуществляется уточненная проектная оценка надежности КТС ЭИС для окончательного варианта системы. Затем производится уточненный расчет одиночного комплекта ЗИП ЭИС, параметров технического обеспечения, численности и состава персонала, обеспечивающего ремонт и эксплуатацию КТС и ПО ЭИС. Результатом этой работы являются разработка требований к надежности персонала системы, а также составление правил и инструкций для персонала ЭИС.

Заключительной работой данного этапа является уточненная проектная оценка надежности системы с учетом надежности КТС, ПО и персонала ЭИС, а также режимов параметров ее технической эксплуатации.

*На стадии опытной эксплуатации ЭИС* организацией-разработчиком проводится комплекс работ по исследованию и повышению надежности системы.

Вначале производится уточнение (или разработка) методики и форм сбора и обработки информации о надежности ЭИС при проведении испытаний и в условиях ее функционирования применительно к особенностям конкретной системы.

Затем на основе этих методик осуществляются сбор статистической информации о надежности системы в условиях опытного функционирования, обработка и анализ информации, оценка надежности ЭИС по полученной информации (экспериментальная оценка). При необходимости производится уточнение параметров технической эксплуатации ЭИС, состава ЗИП, состава и функций персонала системы, корректировка эксплуатационной документации. При необходимости также осуществляется планирование и проведение приемосдаточных испытаний ЭИС на надежность.

Обязательным для этой стадии является комплекс работ, включающий:

- сбор статистической информации о надежности ЭИС в условиях опытного функционирования;
- обработку информации и анализ результатов;
- уточненную оценку надежности ЭИС по полученной информации;
- анализ влияния надежности ЭИС на эффективность ее функционирования.

Заключительной работой данной стадии является формирование и реализация рекомендаций по повышению надежности данной ЭИС и по разработке типовых проектных решений.

Заключительной работой данной стадии является формирование и реализация рекомендаций по повышению надежности данной ЭИС и по разработке типовых проектных решений.

Для проведения экспериментальной оценки надежности могут быть использованы:

- методы организации и проведения специальных испытаний на надежность;

- методы сбора и обработки статистических данных о надежности ЭИС в условиях ее опытного функционирования;

- комбинированные методы, использующие оба этих направления;
- расчетно-экспериментальные методы.

На стадии промышленной эксплуатации ЭИС организацией-заказчиком осуществляется поддержание требуемого уровня надежности системы. Для этого создается специальная служба надежности, осуществляющая непрерывный контроль за надежностью и мероприятия по устранению отклонений от требуемого уровня надежности.

Основными задачами службы надежности являются:

- определение технического состояния ЭИС;
- координация работы всех подразделений организации по вопросам обеспечения надежности функционирующих ЭИС;

- проведение НИР, связанных с анализом отечественных и зарубежных материалов по вопросам надежности ЭИС:

- разработка рекомендаций по повышению надежности функционирующих ЭИС;
- организация сбора и обработка информации о надежности ЭИС;
- проведение расчетов и моделирование надежности различных вариантов ЭИС;
- контроль за обеспечением надежности ЭИС;
- контроль технической документации в части обеспечения надежности ЭИС.

Осуществляются следующие виды контроля за надежностью ЭИС:

- контроль работоспособности, профилактический контроль, диагностический контроль, контроль правильности решения задач.

*Контроль работоспособности* предназначен для проверки элементов ЭИС на отсутствие неисправностей или ошибок в информационных массивах.

*Профилактический контроль* выполняется регулярно в установленные сроки, с тем чтобы исключить отказы, возникающие из-за разрегулировки, старения и износа элементов системы. При профилактике заменяют также элементы, выработавшие свой ресурс.

*Диагностический контроль* осуществляется при наличии неисправности, факт возникновения которой обнаружен (например, при контроле работоспособности) и предназначен для поиска места неисправности с требуемой точностью.

*Контроль правильности* решения задач используется для повышения достоверности полученной информации.

В зависимости от используемого метода контроля и используемых средств реализации различают программный, аппаратный и программно-аппаратный (комбинированный) контроль.

В свою очередь программный метод контроля включает в себя выполнение программных тест-задач, программно-логического и алгоритмического контроля.

В отличие от проверочных тестов, выполняемых при контроле работоспособности или профилактике, объем программ контрольных тест-задач и время их использования невелики.

*Программно-логический контроль* основан на применении повторных счетов (двойных счетов) с последующим сопоставлением результатов, а также проверке специальных контрольных соотношений.

*Алгоритмический контроль* основан на упрощении (усечении) алгоритма решения задачи. Решение по упрощенному алгоритму сопоставляется с результатом, полученным по основному алгоритму. При отсутствии ошибок разность полученных решений должна находиться в заданных пределах.

При сравнительной оценке различных видов контроля необходимо прежде всего учитывать степень их влияния на показатели надежности и технической эффективности (производительность, быстродействие, пропускная способность системы и т.д.), на реализацию контроля.

Служба надежности включает в себя ряд производственных подразделений организации, где функционирует ЭИС.

Основным подразделением службы надежности является отдел надежности, который представляет самостоятельное научно-исследовательское подразделение организации. В состав отдела надежности входят лаборатории (или группы) сбора и обработки информации о надежности, расчетов и моделирования, разработки методических материалов, контроля технической документации и др.

Задачи отдела надежности в основном совпадают с задачами службы надежности организации.

*В процессе промышленной эксплуатации системы* лицом, ответственным за проведение испытаний на надежность, заполняются карточки учета неисправностей (КУН) на каждую неисправность, обнаруженную при работе системы. В карточке фиксируются: наименование ЭИС, форма появления неисправности (сбой, отказ, аварийная ситуация), продолжительность работы до отказа и условия работы, причины отказа, классификация неисправности, способ и продолжительность устранения неисправности, дополнительные сведения и предложения. Данные КУН обрабатываются в ВИ, затем анализируются и обобщаются отделом надежности с целью определения наработки на отказ, среднего времени восстановления, действующих причин, приводящих к отказам, и других данных, необходимых для анализа надежности. На основе анализа разрабатываются рекомендации по повышению надежности ЭИС.

## Глава 2 **НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОГРАММНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭИС**

### **2.1 Методы оценки надежности технической и технологической составляющих**

Методы исследования и оценки надежности технических средств и технологических процессов обработки информации можно разделить на 4 группы: аналитические; экспериментальные; методы, основанные на статистическом моделировании; комбинированные.

*Под аналитическим исследованием надежности* некоторой системы понимают расчет ее надежности на основе данных о надежности компонентов, структуре, условиях функционирования и режиме обслуживания. Применительно к ЭИС аналитическое исследование сводится к определению показателей безотказности и восстанавливаемости. Аналитическим путем может быть определено влияние различных факторов, найдены оптимальные требования к надежности ЭИС и ее компонентов, режимы технического обслуживания и т.д.

Отличительной чертой *экспериментальных методов* является то, что они не требуют знания о надежности свойств компонентов системы. Экспериментальная оценка надежности ЭИС может реализовываться в двух вариантах: 1) организация специальных испытаний и 2) сбор статистических данных о работе системы в условиях нормальной или подконтрольной эксплуатации. Второй путь значительно дешевле первого, но результаты такой оценки формируются со значительным сдвигом во времени по отношению к моменту установки и сдачи системы.

*Методы статистического моделирования*, как и аналитические, требуют наличия данных о надежности компонентов. Метод статистического моделирования состоит в генерировании (с помощью случайных чисел) случайных отрезков времени безотказной работы и времени восстановления отдельных компонентов ЭИС, т.е. искусственном воспроизведении процесса функционирования системы. *Комбинированные методы* объединяют методы, рассмотренные ранее. Так, оценка характеристики отдельных компонентов ЭИС может устанавливаться в результате проведения экспериментов, а полученные результаты использоваться для статистического моделирования.

### **2.2 Оценка надежности технологической составляющей**

При оценке надежности технологической составляющей ЭИС в качестве исходных данных используются:

- 1 Описание технологического процесса решения задачи.
- 2 Описание схемы взаимосвязи информационных массивов и программных модулей.
- 3 Объемно-временные характеристики задачи.
- 4 Сведения об интенсивности отказов и восстановлений по каждому выделяемому структурному компоненту ЭИС (см. табл. 2.1).

Сама оценка предполагает выполнение следующих основных работ:

- 1 Конкретизация понятия отказа с учетом цели проведения расчетов надежности. Обоснование допущений, принимаемых при вычислениях, без существенной потери их точности.
- 2 Построение схемы взаимосвязи информационных массивов и программных модулей. Изучение и анализ множества допустимых вариантов технологического процесса внутримашинной обработки информации.
- 3 Построение графической модели надежности технических средств, используемых в процессе решения задачи, и ее разметка на основе данных, содержащихся в табл. 2.1. Определение времени использования каждого выделенного компонента технологической составляющей системы.
- 4 Построение аналитической модели надежности технических средств.
- 5 Определение коэффициента эксплуатационной надежности как для отдельных ТС, так и для технологической составляющей системы в целом.
- 6 Расчет среднегодовых потерь вследствие ненадежности ТС, годовой себестоимости.
- 7 Выявление уровня влияния факторов на изменение показателей надежности и экономической эффективности системы (например, изменение размеров блоков обрабатываемой информации, включение резервных элементов, изменение (рационализация) схемы технологического процесса обработки информации и т.п.).
- 8 На основе анализа полученных результатов выбор одного или нескольких вариантов технологического процесса обработки информации, являющихся более надежными и экономичными.

**В зависимости от стадии жизненного цикла ЭИС целями оценки надежности могут являться выбор состава технических средств, определение вероятности своевременного решения задачи (комплекса задач), определение режима обслуживания, уточнение затрат на функционирование и т.д. Поставленная цель позволяет корректировать понятие отказа. Например, при оценке вероятности своевременного получения результатов под отказом может пониматься невозможность получения результатной информации за заданный промежуток времени, который может быть равен (для задач, решаемых в реальном масштабе времени) или превышать минимально необходимое время решения задачи (комплекса задач). При уточнении затрат на функционирование для задач, решаемых в диалоговом режиме, под отказом понимается невозможность получения результатов за один прогон задачи (за минимально необходимое время); возможны и другие подходы к определению отказа. Важно определить причины отказа задачи – отказ или сбой технических средств.**

Не менее важным вопросом является обоснование принимаемых допущений. Кроме традиционных допущений (рассмотренных ранее), учитывая цель расчета, могут приниматься дополнительные: соглашения, облегчающие формирование модели, чаще всего это замена "холодного" или "облегченного резерва" на "горячий", исключение из схемы несущественных деталей (например, надежности кондиционеров, вентиляторов и т.д.).

На этапе построения схемы взаимосвязи информационных массивов и программных модулей для каждого варианта решения задачи определяется используемая совокупность технических средств.

Надежность технологической составляющей системы, реализующей задачу, может быть определена на основании показателей надежности системы в целом, надежности совокупностей устройств, отдельных устройств, блоков и т.д., задействованных в технологическом процессе обработки информации. Декомпозиция системы на составляющие ее компоненты позволяет повысить точность и аналитичность результатов. Ограничением при декомпозиции является наличие или возможность получения сведений о надежности компонентов соответствующего уровня детализации. Кроме того, при увеличении количества элементов схемы надежности увеличивается сложность расчетов.

На этапе разметки графической модели для определения времени работы устройств используются: эмпирические данные; сведения разработчиков используемых ППП, приведенные в технической документации; экспресс-оценки. Первый случай характерен для функционирующих систем, второй – для стадии рабочего проектирования, третий – для технического проектирования и предпроектной стадии. Любая структурная схема расчета надежности может быть представлена набором последовательных и параллельных соединений.

Однако в некоторых случаях бывает удобно использовать и более сложные структуры: скользящий резерв, треугольник, звезду, мостик, иерархию и т.д. Аналитические модели для этих структур можно найти в соответствующих справочниках.

Время задействования, как отмечалось ранее, каждого устройства  $t_i$  определяется с использованием приближенных моделей, отражающих стохастические или детерминированные зависимости между

временем реализации операций технологического процесса, приведенных в табл. 2.2, и такими факторами, как объем обрабатываемых данных, блочность, количество рабочих накопителей и т.п.





## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий работу программ операционной системы (зависит от типа операционной системы);

$\beta$  – коэффициент, учитывающий время работы процессора (зависит от типа процессора и класса решаемых задач);

$V_{\text{бл}}$  – количество байт в блоке;

$V_{\text{бл. исх/рез}}$  – количество байт в блоке исходного / результатного массива;

$\tau_{\text{мд}}$  – среднее время перемещения механизма считывания-записи к МД;

$V_{\text{мд}}$  – скорость считывания (записи) информации с МД, байт/мс;

$Q_{\text{сорт}}$  – объем сортируемой информации, байт;

$Q_{\text{исх}}$  – объем исходной информации, байт;

$V_3$  – количество байт в записи;

$V_{3,\text{исх}}$  – количество байт в записи исходного массива;

$Q_1$  – количество байт в первом сливаемом массиве;

$Q_2$  – количество байт во втором сливаемом массиве;

$Q_{\text{печ}}$  – количество строк в массиве, выдаваемом на печать;

$V_{\text{принт}}$  – производительность принтера, стр./мс;

$K_{\text{н}}$  – коэффициент изменения объема информации после выполнения операции;

$q_{\text{бл}}$  – объем служебной информации после выполнения операции;

$K_{\text{бл}}$  – коэффициент, учитывающий наличие служебной информации в записи;

$T_i$  – машинное время выполнения  $i$ -й операции, ч;

$\tau_{\text{вв}}$  – время ввода 1 байта информации;

$\tau_{\text{гмд}}$  – среднее время перемещения механизма считывания-записи к ГМД;

$V_{\text{гмд}}$  – скорость считывания (записи) информации с ГМД, байт/мс.

Значение параметра  $t_i$  предлагается брать равным промежутку между первым и последним моментами использования  $i$ -го устройства, т.е. во внимание принимается промежуток времени, в течение которого отказ устройства (если оно не зарезервировано) приведет к отказу системы.

На основании размеченной графической модели для каждого устройства рассчитывается коэффициент эксплуатационной надежности

$$K_{\text{эн}i} = K_{\text{г}i} P_i = \frac{\mu_i}{\mu_i + \lambda_i} e^{-\lambda_i t_i}, \quad (2.1)$$

где  $K_{\text{эн}i}$  – коэффициент эксплуатационной надежности  $i$ -го технического средства;  $\mu_i$  – интенсивность восстановлений;  $\lambda_i$  – интенсивность отказов;  $t_i$  – время функционирования;  $K_{\text{г}i}$  – коэффициент готовности (см. графу 5 табл. 2.1.);  $P_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го устройства в течение времени его использования  $t_i$ .

Если расчеты проводить вручную, то при  $\lambda \ll 1$  может быть использована следующая приближенная формула

$$e^{-\lambda t} \approx (1 - \lambda t). \quad (2.2)$$

Стоимостные затраты ( $S_i$ ) при использовании устройства  $i$ -го типа в течение времени  $t_i$  рассчитываются по следующей формуле

$$S_i = C_i t_i (r_i + 1), \quad (2.3)$$

где  $C_i$  – себестоимость часа работы  $i$ -го устройства;  $r_i$  – количество резервных устройств.

Среднегодовые стоимостные затраты  $\bar{S}_r$  (без учета дополнительных затрат вследствие повторной обработки при отказах системы) определяются следующим образом:

$$\bar{S}_r = n \sum_{i \in I} S_i, \quad (2.4)$$

где  $n$  – количество прогонов задачи в течение года;  $I$  – множество элементов системы.

Известные значения надежности технических средств и затрат, связанных с их использованием, позволяют рассчитать среднегодовые потери вследствие отказов ТС:

$$\Delta S \approx n(1 - K_{\text{ЭН}}^6) \sum_{i \in I} S_i / 2; \quad (2.5)$$

$$K_{\text{ЭН}}^6 = \prod_{i \in I} K_{\text{ЭН}i}^6. \quad (2.6)$$

Кроме ранее принятых допущений и соглашений, в последней формуле предполагается, что возникновение двух и более отказов за время решения задачи – событие маловероятное, которым можно пренебречь.

Среднегодовая себестоимость вычислительной техники  $\bar{S}_{\text{го}i}$ , используемой в процессе обработки информации, с учетом дополнительных затрат, связанных с необходимостью частичного или повторного решения задачи, может быть рассчитана следующим образом:

$$\bar{S}_{\text{го}} = \bar{S}_r + \Delta S. \quad (2.7)$$

Показатели  $K_{\text{ЭН}}$ ,  $\bar{S}_r$ ,  $\bar{S}_{\text{го}}$ ,  $\Delta S$  рассчитанные для базового и предлагаемого вариантов, являются основанием для их сравнительного анализа и последующего выявления направлений дальнейшего совершенствования системы или выбора окончательного проектного решения. Кроме обобщающих оценок, в процессе анализа рассчитывается также влияние отдельных факторов (изменение структуры системы, изменение блочности наборов данных, длина записи и т.д.) с целью определения направлений совершенствования системы.

Используя схему взаимосвязи программных модулей и информационных массивов, представленную на рис. 2.2, и соответствующую ей графическую модель надежности (рис. 2.1), можно оценить надежность технологической составляющей (технологического процесса) ЭИС, среднегодовые потери вследствие ненадежности ТС, годовую себестоимость ТС данного варианта организации решения задачи (комплекса задач). На основе проведенной оценки, можно проанализировать полученные результаты, а затем разработать и оценить новый более экономичный вариант организации системы. Для упрощения расчетов, кроме вводимых соглашений, принимаются дополнительные допущения, заключающиеся в том, что интенсивности отказов ТС в процессе решения задачи (комплекса задач) постоянны на всем интервале времени.

Рассмотрим пример расчета коэффициента надежности комплекса ТС, а также с учетом затрат на обработку информации на ЭВМ. При этом будем рассматривать два варианта организации внутримашинной обработки данных, первый из которых будет называться базовым, а второй – предлагаемым. Цель расчета – поиск лучшего варианта организации процесса обработки данных. Введем следующие допущения и соглашения.

1 Учитывая цель, под отказом будем понимать невозможность получения результатов за один прогон. Надежность ТС подготовки информации не учитывается. Время работы принтера на стадии контроля также не учитывается. При этом базовый вариант не включает резервных технических средств.

2 Расчет времени работы ТС основывается на приближенных моделях, приведенных в табл. 2.2, которые имеют рекомендательный характер и могут быть заменены на данные или другие модели.

3 Состав ТС определяется из схемы взаимосвязи массивов и программных модулей.

4 Средние потери вследствие одного отказа принимаются равными половине себестоимости одного прогона задачи.

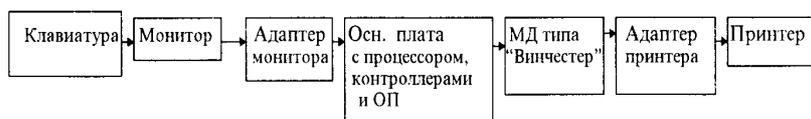
5 Интенсивности отказов ТС в процессе обработки данных постоянны на всем интервале времени их использования.

6 Предполагается, что доля процессорного времени в общем машинном времени решения задачи составляет около 23 %, а доля времени выполнения программ операционной системы – 4,8 %, т.е.  $\alpha \approx 1,05$ ,  $\beta \approx 1,3$ . При необходимости (например, при ориентации на другие технические средства) значения перечисленных параметров должны быть изменены. В последнем случае для расчетов используются модели, приведенные в графе 3 табл. 2.2. Во всех остальных случаях могут использоваться более компактные представления расчетных формул, приведенные в графе 4 табл. 2.2. Допустимо также использование других более точных моделей, позволяющих оценить время реализации операций обработки данных на основе известных объемов обрабатываемой информации, принципов ее организации, блочности наборов данных и состава используемых технических средств.

Пусть базовый вариант процесса обработки информации включает операции ввода информации с клавиатуры, записи на винчестер, сортировку полученных массивов, расчет и вывод результатов на принтер (рис. 2.1). Объем входной информации  $M$  равен 3 100 000 байт. Объем массива информации за предыдущий период  $Q_2$  составляет  $10 \cdot 10^5$  байт, а объем выводимой информации  $Q_{\text{печ}}$  – 35 000 строк.

Первая операция (блок 1) предусматривает формирование массива данных с объемом  $Q_1$ . На вход операции сортировки поступают два массива –  $Q_1$  и  $Q_2$ , которые расположены на одном диске. Отсортированный массив принимается равным  $Q_1$  и  $Q_2$ .

Рассматриваемая базовая схема взаимосвязи информационных массивов и программных модулей (рис. 2.2) является основой для графического моделирования надежности системы. При графическом моделировании надежности ТС наибольшее применение имеют последовательное и параллельное соединения элементов (в смысле надежности). Поэтому ограничимся данными типами соединений для представления графической модели базового варианта. Поскольку в состав технических средств ПЭВМ, используемых в процессе, отображенном на рис. 2.1, входят устройство ввода (клавиатура), устройство отображения (монитор), адаптер монитора, основная плата с процессором, контроллерами и ОП, магнитный диск типа "винчестер", адаптер принтера, принтер, графическая модель будет иметь вид, представленный на рис. 2.1



**Рис. 2.1 Базовая графическая модель надежности**

В смысле надежности все элементы технической схемы соединены последовательно, поэтому отказ любого из них не позволит получить требуемые результаты.

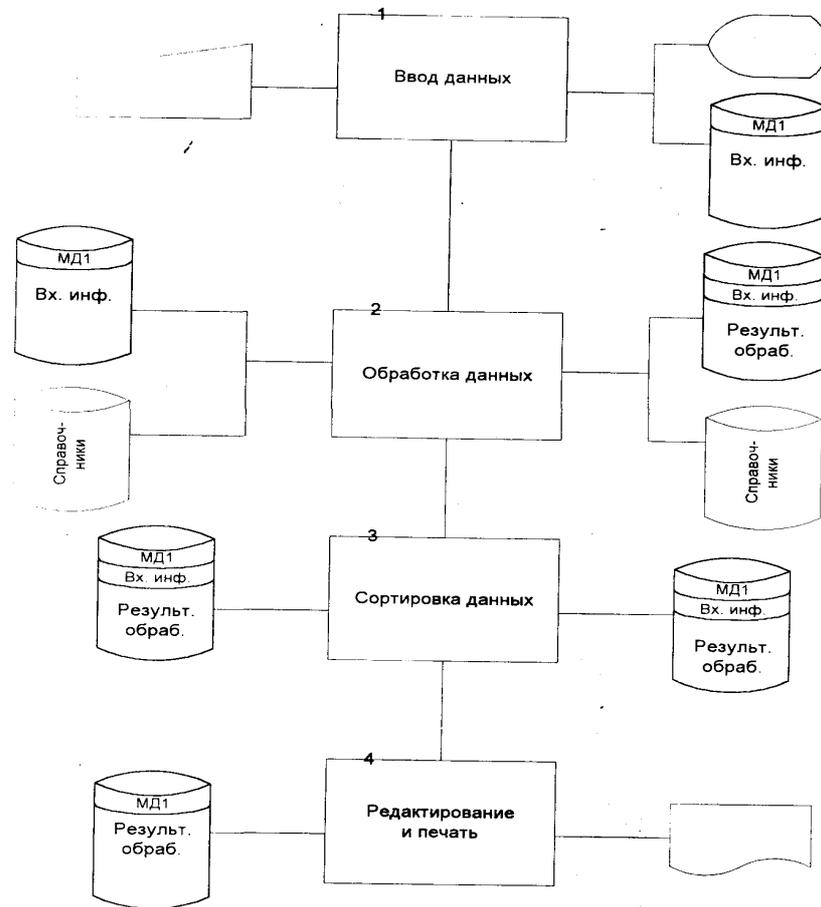


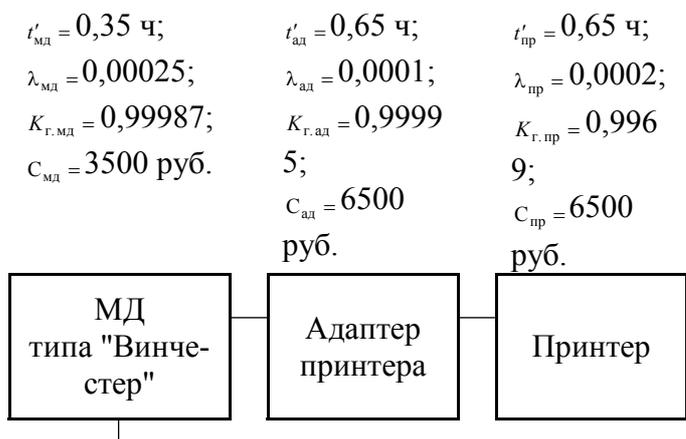
Рис. 2.2 Базовый вариант схемы взаимосвязи массивов и программных модулей

Используя схему взаимосвязи массивов и программных модулей (рис. 2.2) и соответствующую ей графическую модель надежности (рис. 2.1), оценим надежность технологической составляющей, среднегодовые потери вследствие ненадежности ТС, годовую себестоимость ТС.

Графическая модель предлагаемого варианта будет отличаться от базовой, например, числом накопителей. Поэтому разметку графической модели рассмотрим на примере базового варианта. Она представлена на рис. 2.3.

$t'_{кл} = 0,19$ ч;	$t'_м = 0,85$ ч;	$t'_{ад} = 0,88$ ч;	$t'_{пр} = 0,88$ ч;
$\lambda_{кл} = 0,0002$	$\lambda_м = 0,0002$	$\lambda_{ад} = 0,0001$	$\lambda_{пр} = 0,0084$ ;
;	;	;	$K_{г.пр} = 0,9980$
$K_{г.кл} = 0,999$	$K_{г.м} = 0,999$	$K_{г.ад} = 0,998$	;
9;	9;	86;	$C_{пр} = 8800$
$C_{кл} = 1900$	$C_м = 8500$	$C_{ад} = 8800$	руб.
руб.	руб.	руб.	





**Рис. 2.3** Размеченная графическая модель надежности базовой ЭИС

Данные (показатели  $\lambda_i$ ,  $\mu_i$ ,  $C_i$ ), необходимые для разметки, берутся либо из технической документации на устройства, либо рассчитываются на основании статистических данных. Вычисленные временные характеристики представлены в табл. 2.2 (графа 4).

Учитывая ранее введенные допущения и соглашения, общее время однократного решения задачи  $T_{\text{реш}}^{\text{б}}$  с использованием базового варианта ЭИС (рис. 2.1) рассчитывается следующим образом:

$$T_{\text{реш}}^{\text{б}} = T_{\text{вв}}^{\text{б}} + T_{\text{обр}}^{\text{б}} + T_{\text{сорт}}^{\text{б}} + T_{\text{печ}}^{\text{б}}, \quad (2.8)$$

где  $T_{\text{вв}}^{\text{б}}$  – время ввода информации с клавиатуры и записи на МД;  $T_{\text{обр}}^{\text{б}}$  – время обработки входной информации совместно со справочником;  $T_{\text{сорт}}^{\text{б}}$  – время сортировки информации;  $T_{\text{печ}}^{\text{б}}$  – время редактирования и печати результатов обработки.

Для того, чтобы рассчитать  $T_{\text{вв}}^{\text{б}}$ ,  $T_{\text{обр}}^{\text{б}}$ ,  $T_{\text{сорт}}^{\text{б}}$ ,  $T_{\text{печ}}^{\text{б}}$  необходимо пользоваться соответствующими моделями, приведенными в табл. 2.2.

Так, например, значение  $T_{\text{вв}}^{\text{б}}$  для базовой организации ЭИС может быть рассчитано с использованием модели 2, приведенной в табл. 2.2:  $T_{\text{вв}}^{\text{б}} \approx 1,2 \text{ ч}$ ; значения  $T_{\text{сорт}}^{\text{б}}$  и  $T_{\text{обр}}^{\text{б}}$  определяются на основе моделей 4 и 7 табл. 2.2, т.е.  $T_{\text{сорт}}^{\text{б}} \approx 0,89 \text{ ч}$ ,  $T_{\text{обр}}^{\text{б}} \approx 1,36 \text{ ч}$ . Следовательно, для базового варианта  $T_{\text{реш}}^{\text{б}} \approx 3,45 \text{ ч}$ .

Затем для каждого  $i$ -го устройства определяется период времени  $t_i$ , в течение которого отказ соответствующего ТС сделает невозможным получение результатов решения задачи (наступит отказ).

Так, отказ клавиатуры повлияет на функционирование ЭИС лишь при реализации блока 1 рассматриваемой схемы взаимосвязи информационных массивов и программных модулей (рис. 2.1). Отсюда следует, что  $t_{\text{кл}}^{\text{б}} \approx T_{\text{вв}}^{\text{б}}$ . Аналогичные рассуждения позволяют сделать вывод, что  $t_{\text{принт}}^{\text{б}} \approx T_{\text{печ}}^{\text{б}}$ . Несколько иначе обстоит дело с оценкой времени использования таких устройств, как процессор, накопители на магнитных дисках, которые используются на протяжении всего процесса обработки данных. Для этих устройств период времени, в течение которого их отказ приведет к отказу ЭИС, равен  $T_{\text{реш}}^{\text{б}}$ . Время использования накопителей на МД в значительной степени зависит от принятых проектных решений. Так, для базового варианта организации ЭИС  $t_{\text{мд}}^{\text{б}} \approx T_{\text{реш}}^{\text{б}}$ .

На основании размеченной модели каждого  $i$ -го устройства рассчитываются коэффициент эксплуатационной надежности  $K_{\text{эп } i}$  и себестоимости использования в течение времени  $t_i$ . Результаты расчета этих показателей для базового варианта приведены в графах 6 и 7 табл. 2.3. В последней строке этой таблицы представлены значения коэффициента эксплуатационной надежности  $K_{\text{эп}}^{\text{б}}$  и себестоимости технических средств  $S^{\text{б}}$  при однократном решении задачи. Эти значения можно пересчитать на календарный месяц по следующим формулам (примем 12 прогонов задачи в течение месяца):

$$K_{\text{эп}}^{\text{б}} \approx \prod_{i=1}^7 (1 - (1 - K_{\text{г}i} P_i^{\text{б}})(r_i + 1)) \approx 0,9528; \quad (2.9)$$

$$S^{\bar{6}} \approx \sum_{i=1}^7 S_i^{\bar{6}} \approx 18\,096 \text{ руб.} \quad (2.10)$$

Данные, приведенные в табл. 2.3, позволяют рассчитать также среднегодовую себестоимость используемых технических средств без учета их ненадежности  $\bar{S}_r^{\bar{6}}$  и среднегодовые потери вследствие отказов ЭИС  $\Delta S^{\bar{6}}$ :

$$\bar{S}_r^{\bar{6}} \approx nS^{\bar{6}} \approx 12 \cdot 18\,096 = 217\,152 \text{ руб.}; \quad (2.11)$$

$$\Delta S^{\bar{6}} \approx n(1 - K_{\text{ЭИ}}^{\bar{6}}) \frac{S^{\bar{6}}}{2} \approx 12(1 - 0,9528)9048 \approx 5124 \text{ руб.} \quad (2.12)$$

Обобщающий показатель, характеризующий среднегодовую себестоимость технических средств, используемых в процессе решения задачи, с учетом отказов

$$\bar{S}_{го}^6 \approx \bar{S}_r^6 + \Delta S^6 \approx 222\,276 \text{ руб.} \quad (2.13)$$

Анализ таблицы 2.3 показывает, что наименее надежным элементом системы (см. графу 5 табл. 2.3) является МД типа "Винчестер". Учитывая относительно небольшую себестоимость этого средства, в предлагаемом варианте данное устройство может быть зарезервировано.

Этому варианту соответствуют несколько иные временные характеристики использования накопителей на МД:

$$t_{жмд}^n = T_{реш}^n; \quad t_{гмд1}^n \approx T_{вв1}^n; \quad t_{гмд2}^n = T_{вв2}^n.$$

Кроме того, следует иметь в виду, что

$$T_{вв}^n = T_{вв}^6; \quad T_{печ}^n = T_{печ}^6; \quad T_{сорт}^n < T_{сорт}^6.$$

Очевидно, что без проведения количественных оценок сделать однозначный обоснованный выбор варианта организации ЭИС в данном случае невозможно. При оценке  $T_{сорт}^n$  для предлагаемого варианта организации системы необходимо учитывать, что совместно обрабатываемые массивы могут быть расположены на разных дисках. Следовательно,  $\bar{\tau}_{мдс} \approx 37,5$  мс (т.е. времени обращения к смежному блоку). С учетом данного уточнения для расчета  $T_{сорт}^n$  может быть использована модель 4 (табл. 2.2):  $T_{сорт}^n \approx 0,56$  ч.

Показатели, характеризующие предлагаемый вариант организации ЭИС, приведены в графах 8 – 12 табл. 2.3. На основании этих показателей можно рассчитать:

$$\bar{S}_r^n \approx nS^n \approx 12 \cdot 16\,824 \approx 201\,888 \text{ руб.}; \quad (2.14)$$

$$\Delta S^n \approx n(1 - K_{эн}^n) \frac{S^n}{2} = 3654 \text{ руб.}; \quad (2.15)$$

$$\bar{S}_{го}^n \approx \bar{S}_r^n + \Delta S^n \approx 205\,542 \text{ руб.} \quad (2.16)$$

Изменение затрат на обработку информации может быть определено следующим образом:

$$\Delta S_{го} \approx \bar{S}_{го}^6 - \bar{S}_{го}^n = 222\,276 - 205\,542 = 16\,734 \text{ руб.} \quad (2.17)$$

Таким образом, предлагаемый вариант оказался более надежным ( $K_{эн}^n > K_{эн}^6$ ) и экономичным ( $\bar{S}_{го}^6 > \bar{S}_{го}^n$ ). Однако, учитывая, что изменение затрат явилось следствием влияния двух факторов (резервирования МД типа "Винчестер"; изменения состава носителей, используемых в процессе сортировки), необходимо оценить значимость каждого из этих факторов. Влияние первого фактора можно выявить на основании оценки предлагаемого варианта без учета резервирования МД:

$$K_{эн}^{n1} \approx \frac{K_{эн}^n K_{энм}^6}{K_{энм}^n} = \frac{0,9638 \cdot 0,9865}{0,9998} \approx 0,951;$$

$$S^{n1} = S^n - C_1 t_{1м} \approx 6824 - 156 = 6668 \text{ руб.};$$

$$S_r^{n1} = nS^{n1} \approx 12 \cdot 6668 = 80\,016 \text{ руб.};$$

$$\Delta S^{n1} = n(1 - K_{эн}^{n1}) \frac{S^{n1}}{2} = 4900 \text{ руб.};$$

$$\bar{S}_{го}^{n1} = S_r^{n1} + \Delta S^{n1} = 80\,016 + 4900 = 84\,916 \text{ руб.};$$

$$\Delta \bar{S}_{го}^1 = \bar{S}_{го}^6 - \bar{S}_{го}^{n1} = 222\,276 - 84\,916 = 137\,360 \text{ руб.},$$

где  $K_{эн}^{n1}$ ,  $S^{n1}$ ,  $S_r^{n1}$ ,  $\Delta S^{n1}$ ,  $\bar{S}_{го}^{n1}$ ,  $\Delta \bar{S}_{го}^1$  – соответственно коэффициент эксплуатационной надежности, себестоимости однократного решения задачи без учета отказов, увеличения себестоимости вследствие отказов, среднегодовая себестоимость решения задачи с учетом отказов, среднегодовая себестоимость решения задачи без учета отказов, изменение среднегодовой себестоимости с учетом отказов, рассчитанные для определения варианта, но без резервирования МД типа "Винчестер".

Следовательно, введение резервного устройства несколько увеличило надежность ЭИС  $\left( \frac{K_{ЭИ}^n}{K_{ЭИ}^{n1}} = \frac{0,9638}{0,951} = 1,013 \right)$ , что привело к уменьшению дополнительных затрат вследствие ненадежности ТС:

$$\Delta S^{n1} - \Delta S^n = 4900 - 3654 = 1246 \text{ руб.} \quad (2.18)$$

В то же время включение резервного элемента привело к увеличению затрат:

$$\bar{S}_r^n - \bar{S}_r^{n1} = 201\ 888 - 200\ 016 = 1872 \text{ руб.} \quad (2.19)$$

В целом, вследствие резервирования, произошло увеличение среднегодовых затрат, т.е. резервирование в данном случае экономически не оправдано.

Учитывая полученные результаты, необходимо продолжить поиск более рационального варианта системы, позволяющего не только повысить надежность ТС, но и снизить затраты.

При этом следует исходить из того, что схема, представленная на рис. 2.2, оказалась более экономичной. Поэтому следующий оцениваемый вариант должен основываться на этой схеме и не включать резервирование. В рассматриваемом случае целесообразно оценить, например, влияние увеличения блочности формируемых наборов данных. Кроме того, возможна замена технических устройств, обеспечивающих решение задачи на отдельных операциях, на более надежные и производительные.

### 2.3 Направления повышения надежности технических средств

Известно много различных методов повышения надежности изделий (технологические, конструктивные, режимные, эксплуатационные и т.д.). Однако не все из них могут найти применение при решении вопросов технологического обеспечения систем машинной обработки экономической информации. Это связано с тем, что к моменту разработки ЭИС подавляющее большинство используемых технических средств уже создано, и переделка их практически невозможна. Методы повышения надежности, остающиеся в распоряжении разработчиков технического обеспечения ЭИС, можно свести в четыре группы:

- 1) применение более надежных (и, следовательно, более дорогих) компонентов;
- 2) введение избыточности (структурной, временной, алгоритмической);
- 3) организация интенсивного профилактического обслуживания (технической системы в целом или отдельных ее компонентов);
- 4) улучшение условий эксплуатации системы (устранение внешних возмущений и т.п.).

Очевидно, что методы первой и второй групп реализуют на этапе разработки системы, а третьей и четвертой – на этапе эксплуатации.

Применение первого метода не требует каких-либо пояснений. Следует подчеркнуть только, что рост сложности разрабатываемых систем обгоняет рост показателей надежности серийно выпускаемых приборов и средств амортизации. В связи с этим, как правило, первым методом не удается обеспечить требуемый уровень надежности технических средств ЭИС.

Последний метод предполагает приведение условий эксплуатации в соответствие с требованиями, при которых гарантируются паспортные данные по надежности. Дальнейшее же улучшение условий эксплуатации не может существенно повысить надежность функционирования используемого комплекса технических средств (КТС).

Основными методами повышения безотказности КТС ЭИС следует считать второй и третий, которые позволяют обеспечить практически любой требуемый уровень надежности.

Основным видом избыточности, вводимой в КТС, можно считать структурную. Другие виды избыточности (временная, алгоритмическая и т.д.), также способные повышать безотказность функционирования технических средств, по своим свойствам во многом сходны со структурной. Под структурной избыточностью понимают ту дополнительную аппаратуру, которая вводится в КТС с целью улучшения надежностных характеристик и показателей. В настоящее время известно много методов целенаправленного введения структурной избыточности (горячее и холодное резервирование, мажоритарные структуры и т.п.). Наиболее распространен метод параллельного соединения.

Под профилактическим обслуживанием (профилактикой) понимается совокупность плановых мероприятий, проводимых на работоспособном изделии и повышающих его надежность в период после проведения профилактики (по сравнению с его надежностью в том же периоде без профилактики).

Сущность профилактики состоит в выявлении всех износившихся или постаревших элементов изделия, в восстановлении их или замене новыми, а также в обнаружении всех отклонившихся от нормы параметров и возвращении их тем или иным путем к норме. В частном случае профилактика может состоять в замене изделия целиком.

*Полной* называют такую профилактику, которая полностью восстанавливает надежность свойства изделия (полностью обновляет изделие), возвращая его к тому состоянию, которое оно имело в момент начала эксплуатации. *Идеальной* называют такую профилактику, продолжительность которой равна нулю (профилактика производится практически мгновенно, не прерывая заметным образом функционирование изделия).

Профилактика влияет на распределение отказов изделия в интервале времени после момента ее проведения  $Q$ . Влияние профилактики удобно исследовать, пользуясь функцией  $\lambda(t)$ . В случае полной идеальной профилактики имеет место соотношение:

$$\lambda_1(Q + t) = \lambda(t),$$

где  $\lambda(t)$  и  $\lambda_1(Q + t)$  – функции интенсивности отказов изделия соответственно без профилактики и с профилактикой.

#### 2.4 Автоматизация расчетов надежности технической и технологической составляющих

Моделирование и оценку надежности работы технических средств, обеспечивающих процесс решения некоторой экономической задачи в ЭИС, выбор на этой основе наиболее рациональных проектных решений можно осуществить, используя основные положения аналитической методики оценки технической и технологической составляющих надежности, рассмотренной в разделе 2.2, и средство ППП табличной обработки информации (табличного процессора EXCEL).

Автоматизация расчетов технической и технологической составляющих надежности предполагает создание унифицированной модели, реализация которой заключается в следующем:

- 1 Определение возможных целей проведения расчетов. Обоснование допущений, принимаемых при вычислениях без существенной потери точности.

- 2 Изучение и анализ множества допустимых вариантов построения технологических процессов решения задач с целью определения состава используемых технических средств.

- 3 Декомпозиция используемой технической системы и построение унифицированной графической модели ее надежности.

- 4 Разработка унифицированной математической модели расчетов показателей надежности и эффективности, т.е. формализация расчетов коэффициентов эксплуатационной надежности как для отдельных технических средств, так и для ЭИС в целом, среднегодовых потерь вследствие ненадежности технических средств и их годовой себестоимости.

- 5 Анализ состава исходных и нормативно-справочных данных, необходимых для реализации модели и доступных на различных этапах создания ЭИС. Определение способов восполнения недостающей информации и соответствующая доработка унифицированной модели.

- 6 Описание модели с использованием средств табличного процессора.

- 7 Формирование машинного отображения унифицированной модели, ее отладка и апробация.

Перечисленные работы проводятся для каждого из возможных вариантов конфигурации технических средств и технологического процесса обработки информации. Результаты расчетов используются для выбора наиболее рационального проектного решения.

Для упрощения расчетов при выполнении работ принимаются следующие допущения: возможность аппроксимации действующих распределений случайных величин экспоненциальным законом; каждый элемент системы имеет два возможных состояния – работоспособное и неработоспособное (отказ); изменения состояний отдельных элементов системы взаимозависимы, т.е. переход из работоспособного состояния в неработоспособное не влечет за собой непосредственного изменения состояний других элементов; переключение отказавших элементов на резервные осуществляется мгновенно; переключающие устройства абсолютно надежны. При оценке времени обработки информации на определенной операции может быть принято соглашение о том, что отсутствует совмещение операций во времени.

Подробно *содержание этапов 1 – 3 рассмотрено и разделе 2.2.* Здесь лишь отметим следующее. Специфика их реализации при построении унифицированных моделей расчетов надежности заключается в том, что предметом изучения является множество допустимых процессов обработки информации. В результате выполнения этих этапов формируется унифицированная схема надежности, отражающая характеристики (состав технических средств и их соединение), присущие всем или большинству процессов обработки информации. При этом возможны два альтернативных и множество компромиссных подходов. *Первый альтернативный подход* можно представить как операцию пересечения множеств компонентов частных графических схем. *Второй альтернативный подход* предполагает объединение всех схем. Каждый из этих крайних подходов характеризуется некоторыми недостатками. Так, в первом случае может быть получено пустое множество, второй же подход нередко приводит к формированию излишне громоздкой унифицированной схемы, использование которой в каждом конкретном случае неэффективно. Поиск компромиссного варианта можно представить как оптимизационную задачу, целевая функция которой предполагает минимизацию затрат, связанных с использованием унифицированной схемы для отображения частных процессов обработки данных, при ограничении на количественный состав компонентов схемы.

*На четвертом этапе* формируются модели расчетов показателей надежности и эффективности, характеризующих, например, потери вследствие ненадежности работы элементов технологической системы, обеспечивающей выполнение операций внутримашинной обработки данных. В данном случае относительно каждого варианта организации ЭИС формируется вектор (столбец) значений характеризующих его параметров. Наличие многовариантных расчетов предполагает их отображение в табличном виде, что связано с использованием средств табличного процессора.

*На пятом этапе* создания унифицированной модели расчета надежности технических средств ЭИС рассматриваются вопросы ее использования на предпроектной стадии, стадии технорабочего проектирования, внедрения, функционирования, модернизации.

Необходимые для расчета данные (время работы, количество устройств), как правило, известны лишь на этапах рабочего проектирования, внедрения и функционирования. На ранних стадиях создания эти сведения отсутствуют. Поэтому представляется рациональным дополнить модель расчетами, обеспечивающими формирование ориентировочных значений на основании самой общей информации о задачах (например, объема обрабатываемых данных, класса задач, производительности процессора и т.д.). Расчеты всех показателей проводятся на основе методики, ранее рассмотренной в разделе 2.2.

*На шестом этапе* разработанная модель описывается с использованием конструкций, близких к языкам соответствующих средств автоматизации проектирования. Состав и характеристики технических средств, используемых в системе, могут быть изменены, однако общее их количество не должно быть больше девяти (для данной реализации модели). Показатели, характеризующие отдельные варианты организации анализируемой ЭИС, условно можно разделить на три группы: входные  $I$ , результатные  $R$ , нормативные  $N$ . Табличное отображение оцениваемых вариантов предусматривает также условное разбиение таблиц на три части. Первая часть может быть представлена первыми четырьмя строками модели, которым соответствуют важные результатные показатели надежности и эффективности ЭИС в целом. Для указанных строк выделяется специальное окно на экране дисплея, что дает возможность при проведении расчетов постоянно следить за изменением их содержания.

Вторая часть таблицы должна включать строки, описывающие соответственно параметры отдельных технических средств. Для каждого устройства выделяется шесть строк, в которых задаются значения следующих параметров: "интенсивность отказов", "интенсивность восстановлений", "себестоимость работы устройства", "количество устройств".

Параметру "количество устройств" могут быть присвоены следующие значения:

0 – для неиспользуемых в системе устройств (данное значение присваивается по умолчанию);

1 – для нерезервируемых устройств;

$n_i$  – количество параллельно соединенных устройств  $i = 2, 3, 4, \dots$

В последнем случае предполагается "горячее", разделенное резервирование. "Время работы" может быть определено эмпирическим или расчетным путем. В первом случае предполагается проведение экспериментальной эксплуатации ЭИС, что невозможно на ранних стадиях ее создания. Поэтому предлагается определить значение этого параметра на основании детальных расчетов времени выполнения машинных операций согласно моделям, приведенным в табл. 2.2, при использовании среднестатистических данных, характеризующих экономические задачи, и соответствующих им процессов машинной

обработки информации. Третью часть таблицы составляют строки, отведенные для параметров основных операций внутримашинной обработки данных, состав которых может быть значительно расширен за счет использования резервных строк.

*Седьмой этап* предусматривает ввод модели в память компьютера, формирование исходной информации, подготовку контрольного примера, проведение экспериментальных расчетов, корректировку моделей.

Процесс проведения многовариантных расчетов может быть представлен следующим образом:

1 Осуществляется разработка нескольких вариантов организации внутримашинной обработки данных, т.е. определяется состав операций в третьей части таблицы. Каждой графе электронной таблицы соответствует свой вариант организации ЭИС и ее оценки.

2 Выявляется состав технических средств, обеспечивающих реализацию операций в соответствии с вариантом, описанным во второй части таблицы.

3 Вводятся (корректируются) исходные, нормативные данные (изначально входные параметры имеют нулевое значение), например, число решений задачи в течение года, количество вводимой информации, количество используемых устройств определенного типа и т.д. Формируется вектор характеризующих его параметров.

4 На основании описания процессов обработки данных и заданной совокупности параметров производится оценка предложенных вариантов ЭИС.

5 Полученные результаты в первой части таблицы анализируются, формулируются выводы и предложения.

6 Если сделан вывод о возможности улучшения организации ЭИС с точки зрения повышения экономичности и надежности, то разрабатывается очередной вариант и проводится его оценка. Осуществляется переход к пункту 3. В данном случае предлагается осуществлять моделирование за счет изменения размеров блоков, ввода резервных устройств, замены одних операций обработки другими. Включение резервного элемента, как правило, приводит к увеличению затрат на решение задачи, что можно увидеть в случае отказа от изменения размеров блока. Предлагаемые варианты могут быть также усовершенствованы за счет замены одних технических устройств другими. Внесение предложений по совершенствованию системы требует полного перерасчета всех промежуточных и результатных параметров, что позволяет найти наиболее рациональный вариант, который будет надежнее и экономичнее.

Автоматизация расчетов, таким образом, позволяет существенно уменьшить трудоемкость проведения подобных расчетов, повысить достоверность требуемых показателей, манипулировать данными и анализировать их в режиме "что ... если" при постоянном участии в этом конечного пользователя.

## 2.5 Специфика оценки и направления повышения надежности программного обеспечения

Надежность ЭИС определяется не только отказами технических средств, но и отказами программного обеспечения (ПО), вызываемыми ошибками в программах [19]. Если отказы КТС зависят от времени и не зависят от обрабатываемой информации, то отказы ПО, наоборот, не зависят от времени, зато зависят от обрабатываемой входной информации, а также от текущего состояния системы.

Оценка надежности ПО может быть получена непосредственно на основе свойств программ.

В качестве исходных предпосылок принимаются следующие:

а) в результате выполнения программы для каждого множества входных данных получается однозначный выходной результат;

б) множество всех входных данных определяет все вычисления, выполняемые программой;

в) каждая ошибка в программе вызывает сбой для некоторой части входных данных;

г) пропуск программы с некоторым подмножеством входных данных представляет собой единичное наблюдение действия.

Вероятность ошибки в ПО может быть представлена следующим образом:

$$P_{\text{по}} = \sum_{i=1}^n P_i y_i, \quad (2.20)$$

$P_{\text{по}}$  – вероятность ошибки в ПО;  $n$  – число всевозможных подмножеств входных данных;  $P_i$  – вероятность выбора для работы  $i$ -го подмножества ( $i = \overline{1, n}$ );  $y_i = 0$ , если выходной результат верен для  $i$ -го подмножества;  $y_i = 1$ , если выходной результат неверен для  $i$ -го подмножества.

Для получения оценки надежности ПО экспериментальным путем можно применять следующий подход. Если ПО испытывается относительно  $n$  различных входных подмножеств и для  $l$  из них имеют место сбои, то вероятность ошибки в ПО (или надежность ПО) оценивается как

$$P_n = \frac{1}{n}. \quad (2.21)$$

Очевидно, что при достаточно большом  $n$  и случайном выборе подмножеств  $P_n \rightarrow P_{\text{по}}$ .

Для оценки надежности ПО нередко используют показатели, аналогичные применяемым для оценки надежности КТС:

1  $R(t)$  – функция надежности ПО,

$$R(t) = P(t' > t),$$

где  $t'$  – случайный момент времени, в который произошел программный сбой;  $P(t' > t)$  – вероятность того, что программный сбой произошел за пределами интервала  $(0, t)$ .

2  $F(t)$  – вероятность программного сбоя в интервале от 0 до  $t$ .

3  $f(t)$  – плотность разделения вероятности сбоя

$$f(t) = \frac{dF}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}.$$

4  $Z(t)$  – функция риска (аналогичная функции интенсивности отказов  $\lambda(t)$ )

$$Z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}. \quad (2.22)$$

Решая это дифференциальное уравнение относительно  $R(t)$  при начальном условии  $R(0) = 1$ , получим

$$R(t) = e^{-\int_0^t Z(t) dt}. \quad (2.23)$$

Среднее время между программными сбоями задается следующей зависимостью

$$t_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} R(t) dt. \quad (2.24)$$

Для простого случая, когда  $Z(t)$  принимается постоянной на всем интервале исследования, имеем

$$Z(t) = \lambda; \quad R(t) = e^{-\lambda t}; \quad t_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.25)$$

Как видно, любая из этих характеристик достаточна для получения двух других. На практике обычно из наблюдения за проведением программы в определенный временной период находят  $t_{\text{ср}}$ , а затем  $R(t)$  и  $Z(t)$ .

Для сокращения до минимума количества ошибок, встречающихся в программах, необходимо знание факторов, определяющих надежность ПО. Совокупность последних можно разделить на три группы: общие факторы; факторы, связанные с разработкой ПО; эксплуатационные факторы.

К *общим факторам* относятся:

- процедуры управления разработкой ПО;
- подготовка управления разработкой ПО;
- архитектура вычислительной системы;
- языки программирования.

К *факторам, связанным с разработкой ПО*, относятся:

- конструктивные (разряды и стоимость разрабатываемой системы, структура построения программы, наличие опыта разработки, степень выполнения последовательности работ);
- технологические (техника программирования);
- организационные (управление надежностью в процессе разработки, степень обучения и информативности персонала, микроклимат в группе, выполняющей разработку, временные ограничения на выполнение работ).

К *эксплуатационным факторам* относятся:

- полнота и качество эксплуатационной документации;
- степень адаптации документации;
- простота изучения и использования системы ПО на основе документации и путем контрольных пропусков на ЭВМ;
- качество обучения пользователей, ответственных за эксплуатацию ПО;
- степень выполнения стандартов на эксплуатацию ПО;
- защищенность информации программ. Для получения надежных программ необходимы твердые знания о типах встречающихся ошибок.

Ошибки в ПО встречаются на всех этапах технологического процесса производства ПО, начинающегося с постановки задачи и заканчивающегося получением набора и подробных инструкций, управляющих действиями ЭВМ при обработке информации.

Для достижения заданного уровня надежности ПО необходимо:

- избегать ошибок, возникающих в процессе создания ПО;
- обнаруживать ошибки;
- исправлять допущенные ошибки;
- предусматривать допуск ошибок.

К средствам избегания ошибок в процессе проектирования относятся такие, целью которых являются предупреждение появления ошибок в программе, а именно:

- средства и приемы минимизации сложности как основной причины ошибок трансляции;
- средства и методы совершенствования информационных связей разработчиков;
- средства и приемы немедленного обнаружения и удаления ошибок трансляции после каждого ее шага, а не после завершения написания программы.

К средствам обнаружения ошибок относятся:

- организация проверки значений входных данных на известное ограничение;
- проверка на совместимость входных данных;
- введение необходимой избыточности входных данных;
- организация сравнения входных данных с некоторым набором внутренних данных.

К сожалению, эффективные средства исправления ошибок пока не разработаны.

И, наконец, средства допущения ошибок должны обеспечивать возможность функционирования ПО в случае, когда в нем присутствуют ошибки. В составе этих средств можно выделить динамическую избыточность, вспомогательные методы и изоляцию ошибок.

Таким образом, вышесказанное подтверждает хорошо известный из практики факт, что при прочих равных условиях (квалификация разработчиков, период эксплуатации, устранение ошибок после их обнаружения и т.д.) через некоторый промежуток времени более надежными становятся программные средства массового использования.

Так, практически абсолютно надежными можно считать трансляторы с алгоритмических языков КОБОЛ, ФОРТРАН, ПАСКАЛЬ и др. До такого же уровня надежности могут быть доведены и другие программные средства массового использования, например, системы автоматизации проектирования (САПР).

Важной особенностью ПО является то, что в нем находят конкретное воплощение проектные решения в части организационно-экономического, математического, информационного обеспечения ЭИС. Вследствие этого безотказность ПО  $P_{\text{по}}$  зависит от корректности спецификаций  $P_c$  и правильности их интерпретации  $P_{\text{инт}}$ :

$$P_{\text{по}} = P_c P_{\text{инт}} .$$

Данная зависимость верна как для индивидуального проектирования ЭИС, так и для их создания на основе средств автоматизации проектирования. Но в последнем случае, вследствие автоматической интерпретации спецификаций на основе программных средств массового использования, составляющую  $P_{\text{инт}}$  можно принять равной единице, т.е.

$$P^A = P_c , \quad (2.26)$$

где  $P^A$  – надежность ПО, разработанного с использованием средств автоматизированного проектирования;  $P_c$  – надежность спецификаций.

Основные направления повышения надежности ПО ЭИС, совершенствования методологии ее создания, функционирования и модернизации непрерывно связаны с использованием современных средств автоматизации проектирования ППП – функционального и общего назначения, директивных и дескриптивных САПР.

Автоматизация проектирования, повышая надежность ЭИС, обеспечивает:

- уменьшение трудоемкости и времени модернизации систем при изменении их функциональной части;
- повышение надежности программных компонентов;
- повышение качества проектных решений на основе автоматизации многовариантных расчетов;
- обеспечение оценки фактической надежности как отдельных компонентов, так и систем в целом.

Использование средств автоматизации проектирования оказывает влияние как на процесс создания ЭИС, так и на сроки и трудоемкость ее модернизации, обеспечивая тем самым готовность систем к нормальной эксплуатации их функциональных частей.

Повышение надежности программных компонентов ЭИС, разрабатываемых с использованием средств автоматизации проектирования, предопределяется массовым характером использования этих средств, что создает необходимые предпосылки для обнаружения и устранения ошибок, допущенных при создании компонентов. В первую очередь это характерно для ЭИС, в основе которых заложены функциональные ППП и директивные САПР, так как в этих случаях процесс программирования в традиционном смысле практически отсутствует. Ошибки в создаваемом таким образом программном обеспечении в основном являются следствием некорректности спецификаций и их отображений на входных языках соответствующих систем. В случае использования нескольких ППП серьезным источником ошибок являются разрабатываемые, как правило, на языках низкого уровня программные интерфейсы.

Повышение качества проектных решений на основе автоматизации многовариантных расчетов может быть достигнуто при использовании ППП общего назначения и дескриптивных САПР, которые позволяют автоматизировать не только технико-экономические задачи ЭИС, но и расчеты, выполняемые при их создании и модернизации. Рассмотрим данный вопрос более подробно.

Процесс создания ЭИС может быть представлен в виде технологической сети, объединяющей отдельные технологические операции проектирования, характеризующиеся заданным входом, преобразователем и выходом. Значительная часть преобразователей предполагает оптимизацию проектных решений. Постановка и решение подобного типа задач с использованием ЭВМ достаточно полно рассмотрены в специальной литературе. Однако на практике большое распространение получил эвристический подход, основывающийся на сложившихся в данной организации-разработчике традициях проектирования, интуиции разработчиков и т.д. Причины этого, с одной стороны, в чрезвычайно большой размерности решаемых оптимизационных задач, с другой – в том, что исходные данные формируются в процессе решения самой задачи.

Компромиссный подход к решению данного вопроса предполагает проведение многовариантных расчетов по принципу: "Что ... если". В этом случае на основании качественного анализа наиболее общих характеристик системы обработки данных разрабатывается ее модель, содержащая аналитические зависимости между важнейшими параметрами ЭИС. Входные показатели общей модели могут рассматриваться как результат обработки информации, полученной на основании использования более частных моделей, отображающих отдельные компоненты системы или аспекты ее создания, функционирования, модернизации. Следует отметить, что модели верхних уровней иерархии, достаточно адекватно описывающие системы обработки данных на сильно агрегированном уровне, являются в отдельном смысле универсальными и могут быть использованы для оценки некоторого класса однотипных систем, что создает необходимые предпосылки для проведения многовариантных расчетов и обеспечения сопоставимости получаемых результатов.

С учетом сложности проводимых расчетов, большого количества оцениваемых вариантов организации ЭИС (изменение любого проектного решения приводит к появлению нового варианта) практическое значение рассмотренный подход имеет лишь при использовании средств автоматизации проектирования.

Основными требованиями к таким средствам в данном случае являются:

- простота и наглядность первоначального описания и модернизации моделей:

- удобство ввода, корректировки исходных данных, возможность проведения расчетов в интерактивном режиме;
- удобство отображения как конечных, так и промежуточных результатов расчета.

При наличии перечисленных требований использование алгоритмических языков типа FORTRAN, PASKAL и т.д. не представляется возможным вследствие большой трудоемкости как разработки и корректировки программ реализации самих моделей, так и процессов ввода исходных данных и отображения получаемых результатов. Более предпочтительным в данном случае являются получающие в настоящее время широкое распространение программные средства обработки таблиц. В качестве таких средств можно назвать ВАРИТАБ, VISICALC, SUPERCALC, TELECALC, MULTIPLAN, STARCALC. Аналогичные программные средства нередко включаются в качестве составных частей в так называемые интегрированные программные продукты типа LOTUS, SYMPHONY, EXCEL. Перечисленные пакеты в настоящее время чаще всего включаются в математическое обеспечение персональных компьютеров.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Назовите и охарактеризуйте основные методы оценки надежности технической и технологической составляющих ЭИС.
- 2 Назовите исходные данные, используемые при оценке надежности технической и технологической составляющих.
- 3 Охарактеризуйте основные этапы работ, выполняемые при оценке надежности технической и технологической составляющих ЭИС.
- 4 Охарактеризуйте четыре группы методов надежности, используемые разработчиками ЭИС.
- 5 Назовите и охарактеризуйте основные этапы реализации модели автоматизированного расчета технической и технологической составляющих ЭИС.
- 6 Назовите исходные предпосылки для оценки надежности программного обеспечения ЭИС.
- 7 Перечислите основные средства обнаружения ошибок в программном обеспечении ЭИС.
- 8 Назовите основные достоинства автоматизации проектирования.
- 9 Перечислите основные требования к средствам автоматизации проектирования.

## **Глава 3 КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭИС**

### **3.1 Информация как продукт ЭИС**

В настоящее время, когда усиливается роль товарно-денежных отношений, изучение особенностей товарной формы продукции ЭИС является особенно актуальным. Сложность, дискуссионность этой проблемы обуславливается во многом сложностью природы информации как единства идеального и материального, многозначностью понятия "информация".

Существуют различные подходы как к исследованию количественных и качественных сторон информации (вероятностно-статистический, комбинаторный, алгоритмический, семантический, прагматический и др.), так и к изучению сущности информации как экономической категории, анализу стоимостных аспектов ее воспроизводства.

Рассмотрение экономических отношений людей по поводу производства, обмена, распределения и потребления информации следует начать с анализа "товарной формы" информации как "формы экономической клеточки общества" [1].

Имеет ли информация товарную форму продукции ЭИС? Ответ на этот вопрос не столь однозначен, как это кажется с первого взгляда. Несмотря на то, что в реальной действительности мы видим, что информация продается и покупается, наличие у нее свойств товара не является общепризнанным. Еще Н. Винер отмечает, что "удел информации в типично американском мире", где товарно-денежные отношения носят всеобщий характер, "состоит в том, чтобы превратиться в нечто такое, что может быть купле-

но или продано". Он подчеркивал, что "информация и энтропия непригодны для того, чтобы быть товарами" вследствие своего неустойчивого характера. Он же писал, что представление об информации как товарной форме продукции "не соответствует доктрине марксизма" [6].

Действительно, существует высказывание К. Маркса о том, что "самые полезные вещи такие, как знание, не имеют меновой стоимости" [1]. Но К. Маркс говорил это, характеризуя период, когда наука не начинала становиться непосредственной производительной силой и непосредственно капиталисту ничего не стоила.

В современных условиях, когда происходит сближение науки и производства, научная информация производится для обмена и приобретает меновую стоимость (хотя, конечно, товарная форма информации как продукта ЭИС отличается от товарной формы продукта материального производства).

Наличие двух факторов товара – потребительной стоимости и стоимости – применительно к информации позволяет сделать вывод о наличии у нее товарных свойств.

Наличие у информации свойств, позволяющих удовлетворять человеческие потребности, делает ее потребительной стоимостью, которая проявляется лишь в пользовании или потреблении и носит общественный характер. Информация производится для обмена, который возможен потому, что другие потребительные стоимости есть "выражение того, что в их производстве ... накоплен человеческий труд ... то общее, что выражается в меновом отношении, ... и есть их стоимость" [1]). Стоимость информации определяется "количеством содержащегося в ней труда" [1], который затрачивается в течение общественно необходимого рабочего времени.

Труд, заключающийся в информации как товаре, имеет двойственный характер. С одной стороны, это конкретный и полезный труд – решение экономических задач предприятия, объединения, отрасли и т.д. В результате создается информация как качественно определенная потребительная стоимость. С другой стороны, это абстрактный труд – научно-исследовательская деятельность, – образующий стоимость информации как товарной формы продукции.

Следует отметить ряд особенностей воспроизводства информации как продукции особого рода в отличие от продукции – результатов материального производства. Эти особенности появляются на стадии производства (различная степень научной неопределенности), распределения (при продаже информации ЭИС как производитель не лишается ее), обмена (процесс потери информации во время ее передачи) и потребления (уменьшения информации).

Некоторые особенности информации позволяют сделать вывод о том, что она обладает и нетоварными свойствами. Это относится прежде всего к информации, которая является результатом как самих фундаментальных исследований, так и их машинной обработки. Это обуславливается в принципе общественной природой информации как продукта, прежде всего, научного труда и затем уже ЭИС.

### **3.2 Качество информации и методология ее оценки**

Одним из наиболее значимых факторов, влияющих на эффективность ЭИС, является качество результатной информации, под которым по аналогии с определением качества продукции [11] будем понимать совокупность объективных свойств информации, обуславливающих ее пригодность удовлетворять потребности конечных пользователей.



**Рис. 3.1 Составляющие качества информации**

Результатная информация является продуктом ЭИС. Для качества информации, как и всякого продукта, существуют показатели назначения, характеризующие полезный эффект от использования информации по назначению и обуславливающие область ее применения. Кроме того, информация имеет ряд специальных свойств, входящих в состав ее качества. Их классификация приведена на рис. 3.1.

*Достоверность* информации – это ее свойство не иметь скрытых ошибок. В свойстве достоверности можно выделить две составляющие: безошибочность, т.е. свойство информации не иметь скрытых случайных технических ошибок; истинность – свойство не иметь в информации искажений, внесенных человеком намеренно (в том числе из-за непонимания).

*Своевременность* – свойство информации, состоящее в выполнении требований ее поступления потребителю не позднее предварительно установленного срока или через оговоренный промежуток времени после запроса. В данном свойстве можно выделить две составляющие: оперативность, т.е. свойство информации, состоящее в том, что время ее сбора и переработки удовлетворяет требованиям, определяемым динамикой функционирования ЭИС; *срочность* – свойство, состоящее в том, что время обработки информации должно удовлетворять требованиям, определяемым социально-психологическими мотивами.

Свойство *защищенность* информации состоит в невозможности несанкционированного ее использования или изменения. В нем можно выделить формально-техническое свойство – целостность, при котором информация, хранимая в вычислительной системе, не отличается от информации, содержащейся в исходных документах, т.е. когда не произошло случайной или преднамеренной замены или разрушения информации. Кроме этого можно выделить социально-психологическое свойство – *конфиденциальность*, т.е. статус, предоставляемый информации, определяющий требуемую степень ее защиты и согласованный между пользователем и ЭИС.

Под *адекватностью* обычно понимается свойство информации, заключающееся в верном отображении связей и отношений соответствующего объекта. В адекватности можно выделить составляющие: *полноту* – свойство, характеризующее степень отображения реальной действительности (описываемого объекта) в используемом конкретном сообщении. Данное свойство позволяет организовывать информационные модели типа "многое в одном" с помощью малого числа символов. *Избирательность* – социально-психологическое свойство информации, состоящее в том, что она содержит наиболее полезные сведения для лица, принимающего решения.

Совокупность социально-психологических свойств качества информации характеризует ее ценность, т.е. положительную или отрицательную значимость информационных объектов, определяемую не их свойствами, а их вовлеченностью в сферу человеческой жизнедеятельности, интересов и потребностей, социальных отношений. Это показывает, что *ценность информации* (ЦИ) обладает объективной и субъективной сторонами. ЦИ не может быть без ее получателя (субъективная сторона), но информация есть, и в этом ее объективность. ЦИ возникает с момента ее появления. В этом ее объективность. Таким образом, величина влияния ЦИ на качество управления зависит от качественной стороны продукта ЭИС и его обоснованного использования. В роли конечного продукта выступает результатная информация, получаемая через труд работников ЭИС. Наибольшую роль ЦИ играет для получателя (пользователя), поскольку ее значение учитывается им при достижении тех или иных целей.

Количественная оценка тех или иных информационных совокупностей производится в процессе проведения технико-экономического анализа деятельности системы управления (объекта-потребителя информации). Так, например, в результате технико-экономического анализа деятельности машиностроительного завода среднего масштаба с мелкосерийным характером производства установлено, что использование информации о ранее выполненных проектных конструкторско-технологических решениях расширяет их заимствование минимум на 15 %, снижает трудоемкость изготовления продукции в основном производстве на 2 %, во вспомогательном – на 0,5 %. На основании известных стоимостных затрат по соответствующим элементам можно рассчитать прибыль от использования данной информации (без учета затрат на ее получение).

Влияние фактора ЦИ на состояние объекта-потребителя информации характеризуется свойствами, представленными разнообразием ее информационного обеспечения. Принимая, что ЦИ зависит от ряда социально-психологических составляющих качества информации, можно утверждать, что она может иметь положительное и отрицательное значение, измеренное в конечном счете в денежном выражении. Отсюда следует, что ЦИ в ЭИС необходимо рассматривать как экономический фактор. Его влияние на экономику объекта-потребителя информации проявляется в зависимости от качества принятия и реализации управленческих решений. Однако фактор ЦИ оказывает влияние и на производственную деятельность ЭИС, выступая в роли элемента технологического процесса обработки экономической информации (ТПОЭИ). Так, подготовка информации для решения задач на ЭВМ является составной частью ТПОЭИ и оказывает влияние на качество результатной информации. Таким образом, из рассмотренных аспектов фактора ЦИ следует, что он оказывает экономическое влияние на объект управления в системе управления как с позиции управленческого, так и производственного процессов. Данное положение подтверждается сущностью экономических отношений ЭИС и системы управления объектом, связанных с подготовкой, обработкой и использованием информации.

Можно также утверждать, что в ЭИС не только существует необходимость, но и имеется возможность использования информационной меры для качественной оценки влияния информации на экономику данной системы. В условиях функционирования ЭИС это положение становится объективным требованием. Учитывая, что подход к оценке полезного и смыслового содержания информации в ЭИС должен быть полностью связан с общими экономическими измерителями, стоимостью, ценой, экономическими оценками, необходимо развивать методологию измерения ЦИ. Для решения этой задачи необходимы исследования природы, связей, влияния факторов ЦИ в составе ЭИС и разработка методики определения ЦИ и качества функционирования системы управления объектом.

Аналитическая модель ЦИ ЭИС имеет следующий вид:

$$\text{ЦИ} = r_i n_i f(T_i) f(I_i) f(S_i) f(K_i) \rightarrow 1, \quad (3.1)$$

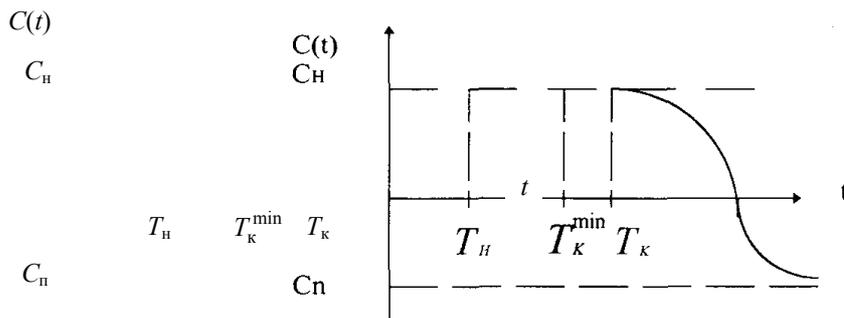
где ЦИ – ценность информации;  $r_i$  – ранговость информации;  $n_i$  – периодичность использования информации;  $f(T_i)$  – срочность получения информации;  $f(I_i)$  – избирательность при использовании информации;  $f(S_i)$  – моральное старение информации;  $f(K_i)$  – конфиденциальность информации.

Состав факторов (свойств) отражает экономическую сущность ЭИС, что подтверждается влиянием на систему каждого фактора в отдельности. Из формулы следует, что информация не будет иметь ценности, если не будет зафиксировано хотя бы одной задачи, величина ЦИ которой стремится к единице.

Данная модель отражает природу факторов. Их материальная сущность проявляется как комплекс "элементарных" воздействий на исследуемый показатель "ценность информации".

Указанные факторы (свойства) тесно взаимосвязаны друг с другом. Рассмотрим более подробно эту взаимосвязь на примере влияния срочности получения информации на ее ценность  $C(t)$  (рис. 3.2). Для

решения задачи, формирующей некоторую совокупность информации, отводится некоторый интервал времени  $(T_H, T_K)$ , где  $T_H$  – самый ранний срок начала решения задачи, определяемый временем поступления исходных данных, а  $T_K$  – наиболее поздний допустимый срок получения результатов.



**Рис. 3.2** График зависимости ценности информации от времени (срочности) ее получения потребителем:

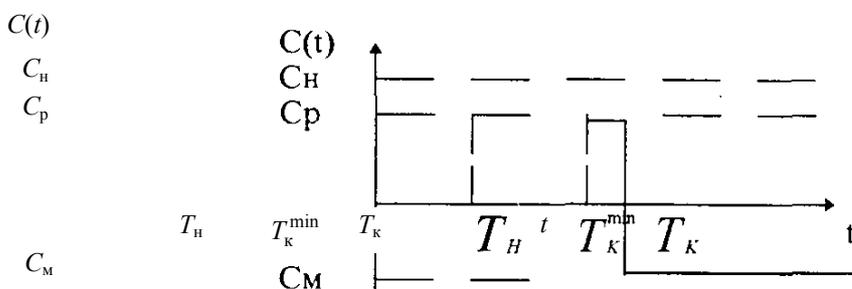
$T_K^{\min}$  – наиболее ранний срок окончания решения задачи, определяемый моментом времени начала решения и временем, требующимся на решение задачи –  $T_p$

Как правило,  $T_p < (T_K - T_H)$ , т.е. время, отводимое на решение задачи, больше минимально требуемого.

Очевидно, если решение задачи проводится в сроки от  $T_K^{\min}$  до  $T_K$ , то эффект (ценность) от использования результатов задачи  $C(t)$  можно считать постоянным, равным номинальному значению  $C_H$ , хотя при этом ЭИС может отказывать. Если же решение задачи завершается в момент времени  $t_k > T_K$ , то ценность падает за счет потерь  $C_P$ , которые образуются в производстве от несвоевременного получения информации, причем размер потерь тем больше, чем позже получены результаты.

Рассмотрим другие, наиболее часто встречаемые на практике случаи измерения размера эффекта (ценности результатной информации) в зависимости от времени окончания решения задачи.

Для этапа *экспериментальной эксплуатации*, когда машинное решение задачи дублируется ручным, график зависимости ценности результатной информации от времени будет иметь вид, представленный на рис. 3.3.



**Рис. 3.3** График зависимости ценности информации от времени ее получения потребителем (этап экспериментальной эксплуатации)

Ясно, что если решение задачи будет получено своевременно, т.е. на интервале  $(T_K^{\min}, T_K)$ , то на объекте будут использованы результаты этого решения, дающие возможность получить эффект в размере  $C_H$ , который должен быть уменьшен на величину затрат  $(C_H - C_P)$ , связанных с параллельным ручным решением. Если же информация будет получена позже срока  $T_K$ , то на производстве возникает необходимость использования результатов ручного решения задачи, вследствие чего возникнут потери в размере затрат  $C_M$  на машинное решение задачи.

На этапе *опытной эксплуатации*, характеризующемся тем, что ручное решение задачи выполняется не всегда, а лишь в случае срыва сроков решения задачи на ЭВМ, график зависимости  $C$  от времени примет вид, показанный на рис. 3.4.

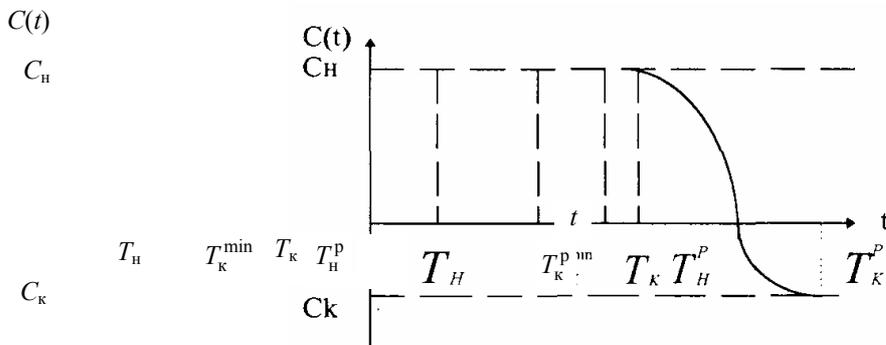


Рис. 3.4 График зависимости ценности информации от времени ее получения потребителем (этап опытной эксплуатации)

В момент  $T_H^P$  принимается решение о ручной обработке информации, которая заканчивается в момент времени  $T_K^P$ . При этом размер ценности результатной информации уменьшается за счет несвоевременного решения задачи и неудавшейся машинной реализации. К моменту  $T_K^P$  значение  $C(t)$  стабилизируется на уровне  $C_K$  (вообще говоря,  $C_K$  является функцией  $t$ ).

Для этапа *промышленной эксплуатации* характерна ситуация, рассмотренная на рис. 3.4. Следует только отметить, что для задач, к которым не предъявляется жестких требований в отношении времени их решения, размер ценности результатной информации, т.е. полезного эффекта от ее использования по назначению, можно считать не зависящим от фактических сроков решения задачи. Для таких задач характерно выполнение условия  $T_p \ll (T_K - T_H)$ .

Некоторые из названных выше свойств имеют противоречивый характер. Так, повышение достоверности информации ведет, как правило, к увеличению сроков ее обработки, а следовательно, отрицательно сказывается на своевременности полученных результатов.

Таким образом, проблема повышения качества информации, генерируемой ЭИС, имеет ряд аспектов, связанных с обеспечением ее специальных свойств, формально-технических и социально-психологических составляющих. В общем случае утрата информацией любого из свойств рассматривается как частичный или полный отказ соответствующей ЭИС, приводящий к уменьшению эффективности ее функционирования.

Однако на практике при изучении надежности ЭИС основное внимание уделяется вопросам достоверности информации. Данное обстоятельство объясняется тем, что номинальные значения показателей, характеризующих своевременность, старение, защищенность и адекватность, применяются при решении вопроса о целесообразности автоматизации той или иной экономической задачи, в то время как достоверность информации, так же как и надежность технических средств, обеспечивается при создании и функционировании ЭИС, реализующей данную задачу. Иногда при рассмотрении вопросов информационной составляющей надежности ЭИС исследуется и своевременность поступления информации пользователям. При локальной оценке информационной составляющей надежности данный подход вполне правомерен. При комплексной же оценке надежности ЭИС, включающей и другие составляющие надежности (техническую, программную и др.), такой подход может привести к повторному учету одних и тех же факторов. Например, надежность технических средств в данном случае первый раз будет учтена как самостоятельный объект оценки, а второй – как фактор, влияющий на своевременность выполнения процедур обработки информации.

Для обеспечения качества информации в ЭИС необходимо иметь количественные показатели различных свойств информации, методы оценки этих показателей по экспериментальным данным, методы расчета качества информации для проектируемых технологических процессов обработки экономической информации. Опираясь на эти методы, можно разработать методы обоснования количественных требований к проектируемым ЭИС, методы синтеза ЭИС из условия обеспечения качества информации. Кроме того, в современных ЭИС необходима система управления качеством информации, призванная

обеспечить специальные свойства информации, их формально-технические и социально-психологические составляющие.

Подытоживая сказанное, следует отметить, что повышение информационной составляющей надежности ЭИС предполагает определение множества допустимых в заданных условиях вариантов организации системы, их оценку и выбор наиболее рационального проектного решения. Учитывая большое количество оцениваемых вариантов, практическое решение данного вопроса определяет необходимость математического моделирования и автоматизации получения соответствующих показателей качества информации.

### 3.3 Классификация и анализ ошибок в экономической информации

Результатом решения задач в ЭИС является вычисление по данному алгоритму определенных показателей и формирование их в виде твердой копии – бумажного документа (машинограммы), индентирование их на экране видеотерминальных устройств, передача по каналам связи и т.д. Следовательно, для пользователя входная и выходная информация в ЭИС – это документы, различающиеся по формам, числу реквизитов (слов), их значности и т.д. Соответственно и ошибки в информации могут быть отнесены к совокупности документов одного вида, к отдельному документу по его строкам, реквизитам и алфавитно-цифровым символам (АЦС). Их классификация приведена на рис. 3.5.

*Символьные ошибки* характеризуют искажение АЦС и реквизитов. Они проявляются в переходе истинного символа в некотором разряде слова в ошибочный, при этом разрядность (формат) слова не меняется. В реквизите одновременно могут быть искажены один или несколько символов, соответственно можно говорить об одно- или многократных ошибках. Проведенные исследования [15] показали, что искажения в реквизитах являются основными ошибками в информации и составляют до 80 %, причем ошибки в реквизитах на 65 – 75 % имеют символьный характер.



Рис. 3.5 Классификация ошибок в экономической информации

Из символьных ошибок до 90 % составляют однократные. Отметим, что на уровне АЦС (одноразрядного слова) символьные ошибки могут быть только однократными. Для разрядности обрабатываемой экономической информации от трех до девяти АЦС основными ошибками являются однократные. Их доля составляет 90 – 93 % от общего числа ошибок. Почти на порядок реже появляются двухкратные ошибки. Их доля составляет от 7 до 10 %. Среди двукратных символьных ошибок около 50 % составляют перестановки символов.

Символьные ошибки могут появляться на любых этапах и операциях обработки данных. Этот вид ошибок является наиболее массовым. Достоверность информации определяется в основном ошибками этого вида.

*Форматные ошибки* определяют собой искажения длины формата некоторой единицы информации. В отличие от символьных форматные ошибки могут возникать в одном реквизите, в том числе и одноразрядном (например, изменение разрядности в реквизите – простая форматная ошибки), либо в группе

реквизитов, строк документа или совокупности документов одного вида (сложные форматные ошибки). Форматные ошибки делятся на простые и сложные, которые в свою очередь подразделяются на однократные и многократные.

Форматная простая однократная ошибка представляет собой увеличение (уменьшение) длины реквизита на один разряд, а многократная – на два и более. Доля простых форматных ошибок в реквизитах почти в три раза меньше, чем символьных, причем наиболее вероятными являются однократный пропуск или добавление символа. Удельный вес ошибок типа пропуска, как правило, в 1,2 – 1,5 раза больше, чем добавление символа. Заметим же, что вероятность искажения реквизита пропорциональна его разрядности. На уровне АЦС (одноразрядного слова) форматные ошибки могут быть только простыми.

Форматная сложная однократная ошибка возникает в группе реквизитов, строк документов или совокупности документов одного вида путем пропуска (добавления) одного реквизита, строк документа или документов определенного вида, а многократная – двух или более реквизитов, строк документа или документов определенного вида. В отличие от других видов ошибок форматные сложные ошибки приводят к изменению структуры документа. Они составляют 5 – 10 % и, как правило, вызывают наиболее тяжелые последствия. В частности, форматные ошибки в количественной информации (числах) приводят к погрешностям в сотни и тысячи процентов истинного значения, в то время как символьные ошибки могут давать погрешности в десятки и сотни процентов. Лишь в тех случаях, когда символьные ошибки поражают младшие разряды чисел, можно говорить о погрешностях в обычном понимании этого слова. Практически большинство ошибок в числах при автоматизированной обработке эквивалентно промахам при измерениях, и с этой точки зрения ошибки в информации коренным образом отличаются от соответствующих ошибок при обычных измерениях. Положение еще усугубляется тем, что если при изменениях грубые ошибки достаточно просто выявить и исключить из рассмотрения, то при автоматизированной обработке аналогичная задача превращается в проблему.

Указанные выше виды ошибок охватывают все элементы информации в ЭИС – исходные данные (постоянные и переменные), программы обработки, при передаче данных по каналам связи, вводе и обработке данных на ЭВМ, результатные данные при выдаче на печать.

### 3.4 Методы обеспечения достоверности информации

В общем случае под достоверностью понимается форма существования истины, обоснованной каким-либо способом (например, экспериментом, логическим доказательством). Под достоверностью информации понимается степень или уровень адекватного отображения ею объективно существующих явлений, событий или процессов [15, 16]. Наряду с ценностью, своевременностью, полнотой, доступностью и т.д. достоверность является одним из основных свойств информации.

Достоверность, или надежность информации связана с вероятностью возникновения ошибок. Понятие "ошибка" в данном случае целесообразно рассматривать как искажение информации, поддающееся с определенной вероятностью обнаружению и регистрации.

Ошибки, возникающие в процессе функционирования ЭИС, можно рассматривать как композицию следующих потоков ошибок: разработки (проектирования); производства (ошибки операторов); исходных данных в линиях связи при передаче данных; возникающих при записи и хранении информации на магнитных носителях; сбоях технических устройств.

При исследовании достоверности могут использоваться уже рассмотренные ранее формы задания распределений вероятностей случайных величин:  $F(x)$ ;  $f(x)$ ;  $P(x)$ ;  $\lambda(x)$ , т.е. достоверность может оцениваться вероятностью наличия ошибки в файле информации, плотностью ошибок, вероятностью отсутствия ошибки (собственно достоверность), интенсивностью ошибок. Следует отметить, что в качестве аргумента в данном случае могут использоваться как время ( $t$ ), так и объем ( $Q$ ) обрабатываемой информации (чаще всего в знаках). В случае экспоненциального характера функции вероятности отсутствия искажения интенсивность отказов является величиной обратной среднему объему информации, приходящемуся на одну ошибку.

В общем виде постановка задачи обеспечения рациональной достоверности результатной информации может быть сформулирована следующим образом: из допустимого множества приемов и методов повышения достоверности выбрать такое его подмножество, которое обеспечивало бы минимальные

суммарные потери, обусловленные, с одной стороны, приведенными затратами на создание и функционирование системы, а с другой – потерями от низкой достоверности резульатной информации.

Состав допустимого множества приемов и методов повышения достоверности предопределяется причинами искажения информации в процессе ее обработки. К таким причинам чаще всего относят: ошибки проектирования; ошибки, связанные с потерей точности вследствие наличия погрешности в исходных данных, ограничений на длину машинного слова, погрешности расчетных формул; случайные или преднамеренные искажения при регистрации информации в первичных документах (или носителях); ошибки при переносе информации на машинные носители; помехи в линиях связи при передачи данных; искажения вследствие сбоев технических устройств; искажения, возникающие при хранении данных.

Каждому типу причин искажений информации может быть поставлен в соответствие один или несколько методов их устранения. Так, искажения, вызванные ошибками проектирования и потерей точности, во многом схожи с программными ошибками. Появление ошибок такого типа функционально зависит от текущей входной информации и состояния системы. Поэтому для их устранения могут быть использованы приемы и методы обеспечения надежности программ [19].

Остальные причины искажения информации имеют стохастический характер, что предопределяет возможность более широкого применения некоторых методов, известных из теории надежности технических систем. Однако с учетом специфики информации (например, отсутствие физического износа) и ее значения как продукта функционирования ЭИС можно выделить:

- приемы и методы, обеспечивающие уменьшение вероятности внесения ошибок;
- приемы и методы обнаружения и исправления ошибок.

К первой группе относятся методы, направленные на уменьшение вероятности сбоев технических средств, уменьшение удельного веса работ, выполняемых с участием человека как наименее надежного звена ЭИС [ 8, 15, 16 ]; повышение квалификации и стимулирование высокого качества работы операторов; использование удобных для оператора форм представления исходной информации и т.д.

Эффективность организационно-технических мероприятий, направленных на реализацию данных методов, имеет известные ограничения. Так, использование более надежных, а следовательно, и более дорогих технических средств может значительно снизить экономическую эффективность системы. Повышение качества работы оператора ограничено психофизиологическими возможностями человека и сопряжено, как правило, с увеличением времени выполнения соответствующих операций.

Методы второй группы предполагают выполнение контрольных операций и соответствующую выявленным ошибкам коррекцию информации.

В качестве аспектов классификации данных методов обычно выделяют:

- охват операций технологического процесса обработки данных;
- тип избыточности;
- используемые средства реализации контроля;
- используемый метод исправления ошибок.

С точки зрения охвата операций технологического процесса в множестве методов контроля и исправления данных можно выделить два подмножества: внутриоперационные и послеоперационные методы контроля. В первое подмножество входят методы контроля, позволяющие выявить и исправить ошибки, сделанные в ходе выполнения операции, результаты которой контролируются. Сюда, например, относят методы контроля перфорации, позволяющие определить ошибки в информации, возникающие при ее переносе на машинные носители, но не обнаруживающие искажения данных при их регистрации в первичных документах. Второе подмножество включает методы контроля, позволяющие выявить ошибки, сделанные при выполнении нескольких, а в частном случае всех предшествующих операций. К таким методам можно, например, отнести контроль, основанный на смысловой проверке информации.

В зависимости от типа избыточности выделяют методы контроля, использующие естественную избыточность и специально вводимую функциональную, техническую, информационную, программную, временную избыточность.

Естественная избыточность бывает, как правило, информационной и связана с наличием логических соотношений показателей и использованием имеющейся в системе нормативно-справочной информации. Кроме того, для многих ЭИС естественной является и временная избыточность, проявляю-

шаяся в наличии некоторого интервала времени между периодом наиболее раннего завершения обработки информации и моментом передачи информации пользователю. К данной группе методов относится различного типа логический контроль информации, содержащейся как в пределах одного массива, так и в разных наборах данных, контроль, основанный на сопоставлении со справочниками, номенклатурами-ценниками и т.д. Как показывает практика, методы контроля данной группы экономически наиболее эффективны, так как не требуют дополнительных затрат, связанных с введением специальной избыточности.

Однако возможности данных методов, как правило, ограничены, так как далеко не все обрабатываемые единицы информации взаимосвязаны.

Наиболее представительная группа методов контроля и исправления информации предполагает введение того или иного типа избыточности. Для большинства ЭИС является характерным введение специальной информационной избыточности. Сюда следует отнести методы, основанные на сравнении массивов, подготовленных на основе одних и тех же первичных документов, счетный контроль, верификацию, контроль по модулю, использование кода Хеминга и т.д.

С точки зрения используемых средств реализации контроля можно выделить методы контроля, реализуемые человеком (например, самоконтроль оператора), аппаратные и программные методы. Выделение последней подгруппы до некоторой степени условно, так как естественно, что реализация программных средств предполагает использование техники, однако, в отличие от сугубо аппаратных методов в данном случае необходима разработка соответствующих программ.

В зависимости от используемых методов исправления ошибок следует выделять методы обеспечения достоверности с неавтоматическим и автоматическим исправлением ошибок. В настоящее время наиболее распространены методы первой группы, предполагающие участие человека в анализе результатов контроля и подготовке корректуры. Автоматическое исправление ошибок используется гораздо реже и распространено в основном на признанную информацию и в некоторых случаях на данные, передаваемые по каналам связи. Однако на практике известны примеры использования автоматической корректировки обрабатываемой информации. Один из возможных вариантов реализации такого подхода можно представить следующим образом. Предположим, в систему необходимо ввести очень важную информацию, представленную в виде документов табличной формы. На первом этапе обработки информации в данном случае рассчитываются контрольные суммы по строкам и графам документов. На втором этапе информация переносится на машинный носитель и вводится в память ЭВМ. С помощью программы контроля проверяются контрольные суммы, и в случае обнаружения расхождений определяются координаты ошибочного реквизита. При концентрации ошибок в одной графе или в одной строке документа происходит автоматическое их исправление и выдача соответствующего сообщения на печать. В противном случае выдаются традиционные сообщения об ошибках. Особенно выгоден данный подход при наличии соответствующей естественной избыточности (необходимых контрольных сумм).

Многообразие методов контроля и исправления информации, конкретные условия их использования не позволяют однозначно решить вопрос о их применении в том или ином случае без проведения расчетов, связанных с оценкой эффективности различных методов.

### 3.5 Оценка достоверности информации

Большинство типов ошибок, возникающих при обработке информации, имеют стохастический характер. Поэтому наиболее распространенным для оценки достоверности является вероятный показатель [15]. Вероятность искажения некоторой единицы информации представляется как

$$\beta_{\lambda}^0 \approx \lim \frac{n_{\lambda}}{N_{\lambda}}, \quad N_{\lambda} \rightarrow \infty, \quad (3.2),$$

где  $n_{\lambda}$  – число искажения единиц информации;  $N_{\lambda}$  – общее число обрабатываемых единиц информации.

В качестве единицы информации в зависимости от целей и условий расчета могут использоваться двоичные символы, алфавитно-цифровые символы, реквизиты, строки документов, документы, файлы. Известные для некоторого процесса средние значения  $\beta_{\lambda}^0$  позволяют определить вероятность неискаже-

ния единицы информации  $\beta_\lambda^1 \approx 1 - \beta_\lambda^0$ , количество ошибочных единиц информации в объеме  $N_\lambda (n_\lambda \approx N_\lambda \beta_\lambda^0)$ , ориентировочное значение вероятности неискажения заданного объема данных и т.д.

Значения  $\beta_\lambda^0$ , характеризующие недостоверность информации после выполнения элементарных операций, определяются чаще всего на основе статистической обработки эмпирических данных. С методикой оценки и результатами расчетов данных показателей можно ознакомиться в работе [15]. Выявленные наиболее важные для последующего изложения материала значения и зависимости  $\beta_\lambda^0$  от таких факторов, как разрядность реквизитов, количество знаков, участвующих в вычислениях и т.д., представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№	Краткая характеристика показателя	Расчетная формула (интервал значений)	Источник
1	Вероятность искажения реквизита, состоящего из $F$ разрядов ( $\beta_F^0$ ), при выборке данных из источников и записи их в первичный документ	$\beta_F^0 \approx (1,63 + 0,1F + 0,067 F^2) \cdot 10^{-3}$	[15, с. 36]
2	Вероятность искажения реквизита при кодировании информации (наименований) цифровыми кодами (кодирование и запись)	$\beta_F^0 \approx (1,8 + 1,7F) \cdot 10^{-3}$	[15, с. 37]
3	Вероятность искажения реквизита при децентрализованной регистрации, совмещенной с заполнением документов (аппаратура – регистраторы информации, персональные компьютеры). Регистрация выполняется неквалифицированными операторами, для которых подготовка информации – неосновная служебная обязанность	$\beta_F^0 \approx (70,4 - 30,7F + 4,8F^2 - 0,22F^3) \times 1,5 \cdot 10^{-3}$	[15, с. 43]
4	Вероятность искажения результата ( $\beta_p^0$ ) суммирования $K_F$ слагаемых ( $80 < K_F > 2$ ), средняя разрядность $F$ ( $F + K_F \geq 6$ )	$\beta_p^0 \approx (-51,9 + 9,3F + 11,3K_F) \cdot 10^{-3}$	[15]
5	Вероятность искажения $F$ -разрядного реквизита при централизованной подготовке данных с использованием клавиатурных уст-	$\beta_F^0 \approx (70,4 - 30,7F + 4,8F^2 - 0,22F^3) \cdot 10^{-3}$	[15]

	роиств		
6	Вероятность искажения АЦС ( $\beta_a^0$ ) при передаче данных по телеграфным каналам связи	$\beta_a^0 \approx (0,5 \dots 1,0) \cdot 10^{-4}$	[15]

Продолжение табл. 3.1

№	Краткая характеристика показателя	Расчетная формула (интервал значений)	Источник
7	Вероятность искажения двоичного символа $\beta_c$ в процессе передачи данных с использованием устройств повышения достоверности	$\beta_c \approx 10^{-6}$ $\beta_c \approx 10^{-6} \dots 10^{-7}$	[15]
8	Вероятность искажения АЦС (аппаратура FS-1500)	$\beta_a \approx (0,9 \dots 2,4) \cdot 10^{-4}$	[15]
9	Вероятность искажения АЦС вследствие ненадежности технических средств, характеризующихся интенсивностью сбоев $\lambda^{cb}$ , при формировании результатного набора данных объемом $Q$ в течение времени $t$	$\beta^0 = \frac{\ln e^{-\lambda^{cb} t}}{Q} = \frac{\lambda^{cb} t}{Q}$	[15]

Как показывает практика, значения  $\beta_e^0$ , характеризующие выходную информацию, формируемую в результате последовательного выполнения операций заполнения первичных документов, регистрации данных на машинные носители и обработки их на ЭВМ, настолько велики, что получить приемлемый результат без мероприятий, повышающих достоверность, невозможно. Реализация этих мероприятий предполагает в частности включение в технологический процесс обработки данных операций контроля информации и исправления выявленных ошибок. Качество контрольных операций может быть оценено вероятностями обнаружения ( $K_e^{00}$ ) или необнаружения ( $K_e^{01} = 1 - K_e^{00}$ ) ошибки в единице информации. Вероятность искажения информации при исправлении ошибок чаще всего принимается равной соответствующему показателю, характеризующему основную операцию (т.е. операцию, результаты выполнения которой контролируются).

Если принять допущение, что все выявленные в результате контроля ошибки исправлены верно, а искажения единицы информации после выполнения основной контрольной и корректирующей операций ( $\beta_n^0$ ) могут быть вычислены следующим образом:

$$\beta_n^0 = \beta_g^0 K_\lambda^{01}, \quad (3.3)$$

где  $\beta_g^0$  – вероятность искажения единицы информации до операций контроля и исправления.

Следовательно,

$$K_\lambda^{01} = \frac{\beta_n^0}{\beta_g^0} \approx \frac{n_n}{n_g}, \quad (3.4)$$

где  $K_{\lambda}^{01}$  – вероятность необнаружения ошибки;  $n_n$  – число искажений единицы информации после выполнения операций контроля и исправления;  $n_g$  – число искаженных единиц информации до выполнения операций контроля и исправления.

В качестве единицы информации при оценке  $K^{01}$  используется алфавитно-цифровой символ, реквизит и т.д. Численные значения  $K^{01}$ , характеризующие различные методы контроля, могут быть определены на основе непосредственного расчета вероятностей, сбора и статистической обработки эмпирической информации, имитационного моделирования процессов обработки данных. Непосредственный расчет  $K^{01}$  рассмотрим на примере оценки метода контрольного суммирования. В основу метода положено суммирование  $n$  чисел, содержащихся в некоторой порции информации (например, в строке, графе, документе и т.д.), и введение в первичный документ контрольных чисел, которые сравниваются с соответствующими суммами, полученными в результате работы программы контроля. Важно отметить, что контроль не распространяется на ошибки, допущенные при составлении первичного документа.

Из всего множества ошибок, допускаемых при переносе данных на машинные носители [15], рассматриваемый метод контроля не всегда может обнаружить искажения, "компенсирующиеся" в пределах обрабатываемой порции, и ошибки, вызванные пропуском или добавлением лишних порций информации.

Для оценки вероятности необнаружения ошибки в первом случае рассмотрим совокупность из контролируемых и контрольных реквизитов, входящих в одну порцию информации, как некоторую систему, включающую  $n + 1$  элементов. С вероятностью  $\beta_m^0$  каждый контролируемый  $m$ -разрядный реквизит может быть искажен при переносе на машинный носитель и вводе в ПЭВМ. Контрольная сумма, кроме того, может быть искажена и в процессе ее вычисления.

Предположим, что количество разрядов (1), выделенное для контрольной суммы, позволяет избежать переполнения. Очевидно, что количество возможных ошибок в пределах одного десятичного числа равно  $10^m - 1$ , и число различных ошибок в двух числах –  $(10^m - 1)^2$ . Ошибки  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  в двух числах не будут обнаружены, если  $\Delta_1 + \Delta_2 = 0$ , т.е. ошибка, сделанная в одном числе, однозначно предопределяет значение ошибки во втором числе, при котором искажения не будут обнаружены. Следовательно, из общего числа ошибок  $(10^m - 1)^2$  не будут обнаружены  $10^m - 1$ , т.е. вероятность пропуска ошибки в двух числах  $P_2 = 1/(10^m - 1)$ . Ошибки в трех числах не будут обнаружены этим методом, если  $\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 0$ . Если это равенство соблюдается, ошибки в двух числах однозначно предопределяют ошибку в третьем числе. Всего существует  $(10^m - 1)^2$  различных ошибок в двух числах, но из них  $(10^m - 1)$  будут удовлетворять сравнению  $\Delta_1 + \Delta_2 = 0$ , а следовательно, противоречить исходному условию (наличие трех ошибок). Отсюда получаем вероятность пропуска ошибки одновременно в трех числах:

$$P_3 = [(10^m - 1)^2 - (10^m - 1)] / (10^m - 1)^3 \approx 1 / (10^m - 1). \quad (3.5)$$

Аналогично можно показать, что вероятность пропуска ошибки одновременно в  $i$  числах ( $i > 1$ )  $P_{i>1} \approx 1 / (10^m - 1)$ .

Вероятность наличия в порции более одной ошибки ( $H_{i>1}$ ) равна:

$$H_{i>1} = 1 - H_0 - H_1, \quad (3.6)$$

где  $H_0$  – вероятность неискажения порции информации;  $H_1$  – сумма вероятностей состояний системы, характеризующихся искажением одного реквизита.

Вероятность неискажения порции предполагает отсутствие ошибок как в контролируемых, так и в контрольном реквизите.

Следовательно,

$$H_0 = (1 - \beta_m^0)^n (1 - \beta_{\lambda}^0), \quad (3.7)$$

где  $\beta_m^0$  – вероятность искажения контролируемых  $m$ -разрядных реквизитов;  $\beta_{\lambda}^0$  – вероятность искажения  $\lambda$ -разрядной контрольной суммы.

Сумма вероятностей состояний системы, характеризующихся искажением ровно одного реквизита, может быть вычислена следующим образом:

$$H_1 = n(1 - \beta_m^0)^{n-1} \beta_m^0 (1 - \beta_e^0) + (1 - \beta_m^0)^n \beta_e^0. \quad (3.8)$$

Так как  $P_{i>1} \approx \frac{1}{10^m - 1}$ , вероятность ошибки в числовом реквизите ( $\beta_k^0$ ), входящем в некоторую порцию информации, рассчитывается следующим образом:

$$B_k^0 = \frac{1}{10^m - 1} H_{i>1} = \frac{1}{10^m - 1} \left[ 1 - (1 - \beta_m^0)^n (1 - \beta_e^0) - n(1 - \beta_m^0) \beta_m^0 (1 - \beta_e^0) - (1 - \beta_m^0)^n \beta_e^0 \right]. \quad (3.9)$$

При некоторых видах контрольного суммирования формула не полностью отражает вероятность искажения информации. Так, при расчете контрольных сумм по строкам документа и последующем переносе информации на машинные носители возможны пропуски или добавления лишних (дублирующих) порций информации. Вероятности пропуска или добавления реквизитов в результате этих событий  $\beta_n^0$  колеблются в пределах от  $0,1 \beta_m^0$  до  $0,13 \beta_m^0$ .

Так как вероятность необнаружения данного типа ошибок при контроле, основанном на расчете итогов по строкам, равна 1, значение, учитывающее  $K_{\text{испр}}^{01}$ , оба рассмотренных фактора (компенсацию ошибок и пропуск строки), рассчитывается по следующей формуле:

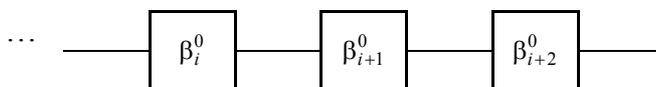
$$K_{\text{испр}}^{01} = \frac{(1 - \beta_n^0) \beta_k^0 + \beta_n^0 \cdot 1}{\beta_m^0 + \beta_n^0}. \quad (3.10)$$

Аналогичным образом могут быть получены формулы, необходимые для оценки других методов контроля и верификации, семантического контроля и т.д.

Значения показателей  $\beta^0$  и  $K^{01}$ , характеризующие результаты дополнения отдельных элементарных операций, являются основой оценки достоверности информации, получаемой в результате дополнения совокупностей взаимосвязанных операций и всего технологического процесса в целом. В результате оценки может быть определена либо вероятность неискажения (искажения) выходной информации, либо вероятность неискажения (искажения) единицы информации. При втором подходе в качестве единицы информации чаще всего используют алфавитно-цифровой символ.

Остановимся более подробно на моделях процессов преобразования, характерных для данного подхода.

Простейшим случаем взаимосвязи операций является их последовательное выполнение без включения контрольных и корректирующих процедур. Фрагмент схемы такого процесса приведен на рис. 3.6.

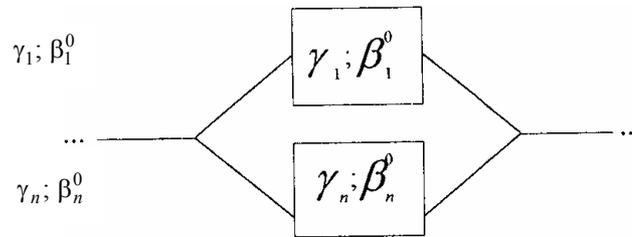


**Рис. 3.6 Простейший случай соединения операций**

В данном случае каждая операция характеризуется некоторой вероятностью искажения обрабатываемой информации  $\beta_i^0$ . Причем набор данных, вероятность искажения которого оценивается, обрабатывается на всех включенных в процесс операциях. Вероятность искажения единицы информации после выполнения  $n$  таких операций ( $\beta_1^0$ ) равна:

$$B_1^0 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \beta_i^0). \quad (3.11)$$

Более сложный случай предполагает распараллеливание процесса обработки информации, когда отдельные ее частоты обрабатываются путем реализации операций, характеризующихся различными значениями вероятностей искажения информации. Например, одна часть данных может регистрироваться вручную,  $i$  другая с помощью датчиков. Фрагмент такой схемы представлен на рис. 3.7.

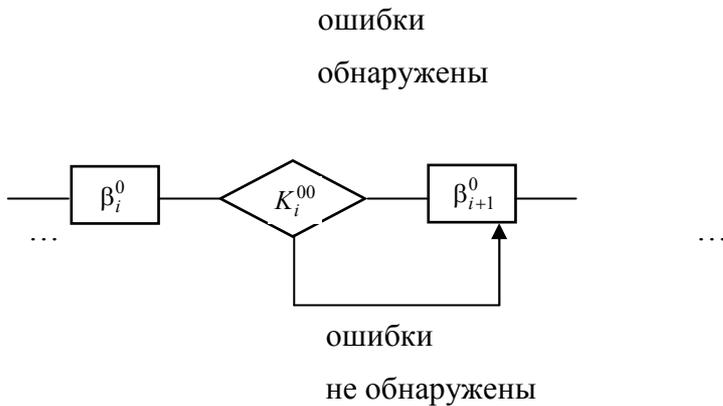


**Рис. 3.7 Параллельное выполнение операций**

Каждая операция в данном случае характеризуется удельным весом (долей) обрабатываемой информации  $\gamma_i$  и вероятностью искажения резульатной информации. Вероятность искажения единицы резульатного объема информации ( $\beta_2^0$ ) вычисляется по следующей формуле

$$B_2^0 = 1 - \sum_{i=1}^n \gamma_i (1 - \beta_i^0). \quad (3.12)$$

Простейший случай включения в процесс внутриоперационного контроля отображен на рис. 3.8.

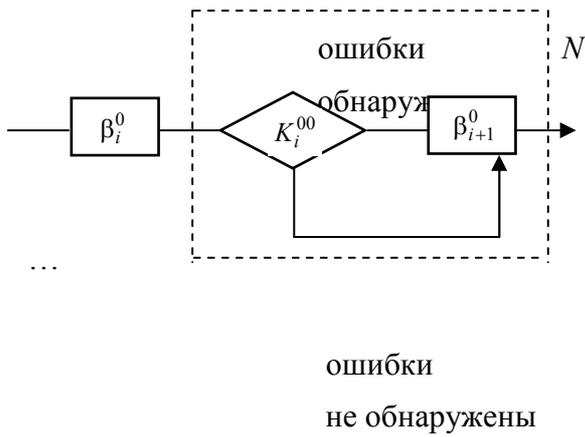


**Рис. 3.8 Внутриоперационный контроль**

При выполнении операций, представленных на рисунке, происходит некоторая обработка информации, в процессе которой информация искажается с вероятностью  $\beta_i^0$ . С вероятностью  $K_i^{00}$  обнаруживаются ошибки, допущенные на  $i$ -й операции. Показатель  $\beta_{i+1}^0$  характеризует вероятность искажения информации при ее корректировке. Вероятность искажения информации после реализации данных операций ( $B_3^0$ ) определяется следующим образом:

$$B_3^0 = \beta_i^0 K_i^{01} + \beta_i^0 K_i^{00} \beta_{i+1}^0 = \beta_i^0 (K_i^{01} + \beta_{i+1}^0 K_i^{00}). \quad (3.13)$$

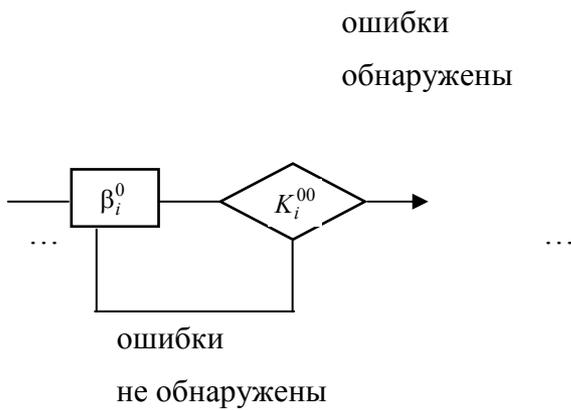
В некоторых случаях операции контроля и корректировки включаются в процесс несколько раз ( $N$ -кратный контроль). Фрагмент такого процесса представлен на рис. 3.9.



**Рис. 3.9 N-кратный контроль**

Часть схемы, обведенная пунктирной линией, выполняется  $N$  раз. Математическая модель достоверности, обеспечиваемой данной совокупностью операций, имеет следующий вид:

$$B_4^0 = \beta_i^0 (K_i^{01} + K_i^{00} \beta_{in}^0)^N. \quad (3.14)$$



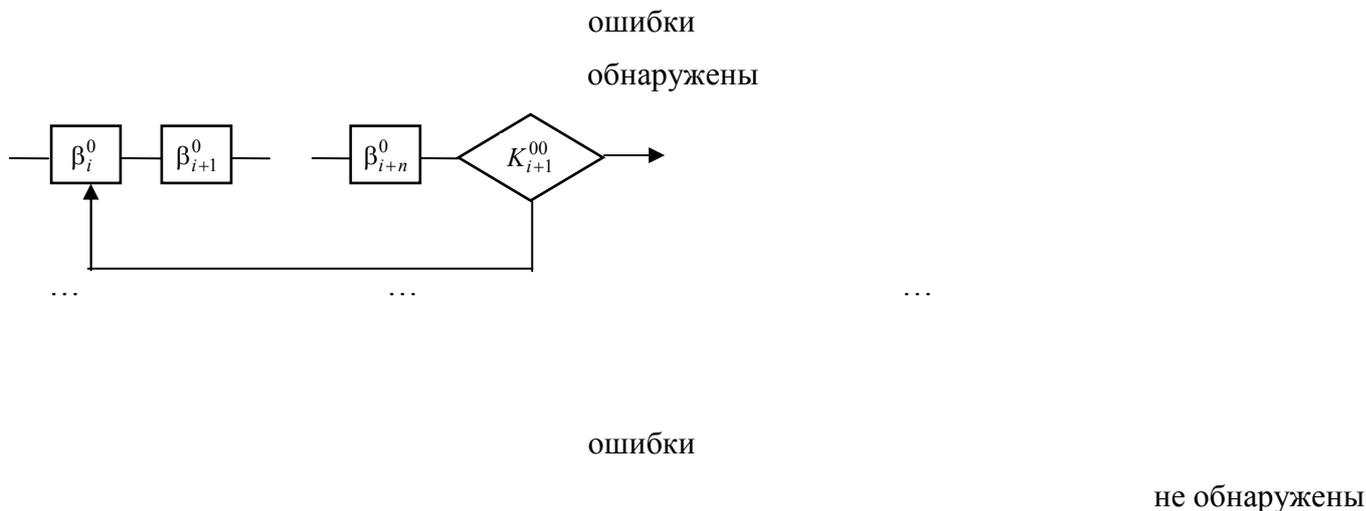
**Рис. 3.10 Контроль с повторной обработкой**

Довольно часто исправление ошибок осуществляется путем повторного выполнения основной операции до тех пор, пока в процессе контроля выявляются ошибки (рис. 3.10).

Модель, соответствующая этой совокупности операций, может быть представлена следующим образом:

$$B_5^0 = 1 - \frac{(1 - \beta_i^0)}{1 - \beta_i^0 K^{00}}. \quad (3.15)$$

Как уже отмечалось, некоторые виды контроля имеют межоперационный характер. Фрагмент схемы технологического процесса, отображающий такой контроль, представлен на рис. 3.11.



**Рис. 3.11 Межоперационный контроль информации**

На схеме 3.11 в целях повышения наглядности операции, результаты которых контролируются, соединены последовательно и не содержат контролей. В реальных же процессах могут быть использованы самые разнообразные сочетания рассмотренных выше типов соединений. Математическая модель процесса, отображенного на рисунке, имеет следующий вид:

$$B_6^0 \approx 1 - \frac{\prod_{i=1}^{i+n} (1 - \beta_{i+n}^0)}{1 - \left[ 1 - \prod_{i=1}^{i+n} (1 - \beta_{i+n}^0) \right] K^{00}} . \quad (3.16)$$

Кроме показателей, рассчитываемых на основе рассмотренных выше моделей, в процессе оценки операций непосредственно обработки информации на ПЭВМ, при известных допущениях, связанных с использованием экспоненциального закона распределения вероятностей, может быть применена следующая формула

$$B_7^0 \approx \frac{\ln e^{-\lambda^{cb} t}}{Q} \approx \frac{\lambda^{cb} t}{Q} , \quad (3.17)$$

где  $B_7^0$  – вероятность искажения единицы информации в процессе обработки данных на отдельных устройствах ПЭВМ (предполагается, что каждый сбой приводит к ошибке в обрабатываемых данных);  $\lambda^{cb}$  – интенсивность сбоев используемого технического устройства;  $t$  – время использования устройства;  $Q$  – объем информации.

Применение рассмотренных элементарных показателей и моделей отдельных фрагментов процессов преобразования информации создает необходимые предпосылки для построения моделей реальных технологических процессов обработки данных.

Построение и использование таких моделей, как правило, предполагает выявление допустимых вариантов технологии обработки данных, разработку соответствующих схем достоверности, разметку схем и математическое их описание, расчет показателей достоверности, уточнение схем и/или моделей (в случае необходимости), выбор наиболее рационального варианта.

## Контрольные вопросы

- 1 Поясните принципиальное различие двух факторов, характеризующих информацию как товар: потребительской стоимости и стоимости.
- 2 Изложите классификацию качества информации.
- 3 Покажите, что достоверность информации является одним из основных свойств качества информации.
- 4 Поясните принципиальные различия между формально-техническими и социально-психологическими составляющими качества информации.
- 5 Поясните, как проявляется зависимость ценности информации от времени получения потребителем.
- 6 Назовите факторы, влияющие на качество информации в ЭИС.
- 7 Изложите основные причины возникновения ошибок в экономической информации.
- 8 Поясните существенные различия между символьными и форматными ошибками в экономической информации.
- 9 Изложите основные различия между двумя группами приемов и методов, обеспечивающих обнаружение, исправление и уменьшение вероятности возникновения ошибок.
- 10 Перечислите наиболее важные этапы процесса оценки достоверности информации.
- 11 Охарактеризуйте особенности использования методов контроля информации в ЭИС.

## Глава 4 НАДЕЖНОСТЬ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭИС

### 4.1 Понятие надежности эргономической составляющей ЭИС

При создании современных ЭИС необходим всесторонний учет человеческого фактора. Большое значение при этом имеет оценка надежности эргономической составляющей системы и ее подсистем. Внешние и внутренние условия функционирования ЭИС с человеком в контуре управления являются предметом эргономического обеспечения системы, а объектом – процесс взаимодействия операторов с техническими средствами ЭИС. Предмет и объект подвержены отказам в процессе функционирования ЭИС.

В общей проблеме надежности эргономического обеспечения функционирования ЭИС следует различать две задачи: анализ и синтез. Первая заключается в оценке надежности функционирования ЭИС с известными параметрами в зависимости от условий и режимов работы. Вторая задача состоит в определении структуры и таких параметров системы, при которых качество ее функционирования при известных ограничениях (условиях и режимах) будет не хуже заданного уровня.

При анализе функционирования ЭИС возможно несколько подходов [8]:

- системотехнический, при котором человек рассматривается как элемент среды, влияющий на ЭВМ;
- равноэлементный, где человек и техника рассматриваются как равнозначные элементы системы;

- человеко-системный, в котором рассматривается система человеческой деятельности, где любые технические средства являются орудием труда человека.

Каждый из перечисленных выше подходов не лишен недостатков, ограничивающих их практическое применение при оценке надежности ЭИС.

В основе первого и второго подходов лежит попытка перенести идеи и методы классической теории надежности на новый объект исследования – человека. Однако оказалось, что человеку свойствен принципиально новый тип отказа – ошибка в деятельности (временный неустойчивый отказ). Разработанные в рамках теории надежности математические модели этот тип отказа не учитывают. В связи с этим необходима разработка новых методов.

Более приемлемым явился человеко-системный подход. Но и ему присущ ряд недостатков, основным из которых является нечувствительность метода к изменению режима и условий функционирования системы, если при этом не изменилась структура деятельности человека-оператора.

Поскольку ЭИС в качестве обязательной составляющей включает человека, им по сравнению с техническими системами присуще принципиально новое свойство, которое можно определить как целесообразность функционирования в виде способности достигать поставленную цель. Причем целеполагающей является человеческая деятельность, а функционирование технической части носит исполняющий характер. Поэтому интегральной для деятельности человека является оценка ее результативности по отношению к поставленной цели.

Надежность человека можно разложить на ряд составляющих: надежность психических процессов, надежность энергетических процессов и т.д. Полная надежность человека определяется совокупностью процессов, протекающих в его организме. Надежность деятельности в свою очередь определяется надежностью человеческого организма и надежностью выполнения человеком функций по управлению и обслуживанию. Поэтому надежность деятельности человека целесообразно представить в виде структурной и функциональной надежности.

Основой для получения количественного показателя надежности эргономической составляющей ЭИС является структура деятельности человека-оператора. Ее построение основано на следующих принципах:

- деятельность человека декомпозируется на более мелкие элементы (функциональные и операционные единицы);
- определяются показатели надежности операционных единиц (безошибочность и своевременность выполнения операции) экспериментальным путем или из соответствующих справочников;
- на уровне функций показатели надежности деятельности человека определяются через известные характеристики декомпозированных элементов путем сворачивания полученных структур деятельности к более простым структурам с эквивалентными временными и надежностными характеристиками.

Путем анализа построенных структур в деятельности человека-оператора выделяются типовые блоки функциональных единиц, для которых могут быть получены аналитические выражения по определению характеристик функциональной надежности (безошибочности и своевременности) их выполнения. С помощью этих зависимостей структура любой сложности может быть приведена к эквивалентной, в частном случае представляющей собой последовательную цепочку эквивалентных блоков. Показатели функциональной надежности будут определяться как произведение вероятностей безошибочного выполнения каждого блока. Показатели надежности технических средств, используемых оператором при выполнении программы, находятся обычными методами теории надежности (см. разделы 1.2 – 1.4).

#### **4.2 Моделирование и оценка безошибочности выполнения функций человеком-оператором**

В качестве основных показателей надежности ЭИС принимаются вероятности безотказного, безошибочного и своевременного решения задачи системой, определяемые через показатели надежности человека-оператора и комплекса технических средств, которые берутся в качестве исходных с учетом взаимного влияния их друг на друга.

Надежность человека-оператора характеризуется показателями безошибочности, готовности, восстанавливаемости и своевременности.

Безошибочность человека-оператора определяется вероятностью безошибочной работы, которая вычисляется как на уровне отдельной операции, так и на уровне алгоритма

$$P_j = \frac{N_j - n_j}{N_j}, \quad (4.1)$$

где  $P_j$  – вероятность безошибочного выполнения операции  $j$ -го типа;  $N_j, n_j$  – соответственно общее число выполненных операций  $j$ -го вида и допущенное при этом число ошибок.

Формула (4.1) справедлива лишь для участка устойчивой работоспособности оператора. В этом случае, зная интенсивность ошибок при выполнении различных операций и алгоритм работы оператора, можно найти вероятность безошибочного выполнения этого алгоритма

$$P = \prod_{j=1}^J P_j^{K_j} \approx e^{-\sum_{j=1}^J (1-P_j)K_j} \approx e^{-\sum_{j=1}^J \lambda_j T_j K_j}, \quad (4.2)$$

где  $\lambda_j$  – интенсивность возникновения ошибок  $j$ -го вида;  $K_j$  – число операций  $j$ -го вида;  $T_j$  – среднее время выполнения операций  $j$ -го вида.

Важным показателем надежности является и коэффициент готовности оператора ( $K_{\text{гоп}}$ ), представляющий собой вероятность включения оператора в работу в любой произвольный момент времени:

$$K_{\text{гоп}} = \frac{T - T_0}{T}, \quad (4.3)$$

где  $T_0$  – время, в течение которого оператор отсутствует на рабочем месте;  $T$  – общее время его работы.

Показатели восстанавливаемости обусловлены возможностью самоконтроля оператором своих действий и исправления допущенных ошибок. Вероятность исправления ошибки при этом будет равна

$$P_{\text{исп}} = P_{\text{к}} P_{\text{обн}} P_{\text{н}}, \quad (4.4)$$

где  $P_{\text{к}}$  – вероятность выдачи сигнала схемой контроля;  $P_{\text{обн}}$  – вероятность обнаружения оператором сигнала контроля;  $P_{\text{н}}$  – вероятность исправления ошибочных действий при повторном решении.

Показатели своевременности действий человека-оператора вводятся потому, что даже правильные, но несвоевременные действия обычно не приводят к достижению цели ЭИС, т.е. по своим последствиям они равносильны ошибке. Основным критерием своевременности является вероятность своевременного выполнения работы. Она может быть найдена, если известны функция плотности  $f(t)$  времени решения задачи и допустимый лимит времени  $t_{\text{л}}$  на ее решение:

$$P_{\text{св}} = \int_0^{t_{\text{л}}} f(t) dt. \quad (4.5)$$

Если лимит времени и время решения подчинены нормальному закону распределения, то выражение для  $P_{\text{св}}$  может быть упрощено.

После определения частных показателей надежности технических средств и работы человека-оператора может быть найдена надежность всей ЭИС.

### 4.3 Оценка надежности и эффективности ЭИС по уровню обученности специалистов

Обучение специалистов своей конечной целью ставит достижение) такого функционального состояния организма, которое обеспечивает требуемое качество деятельности. Одним из условий надежного функционирования ЭИС является состояние структуры психических и психофизиологических особенностей организма человека, соответствующее структуре производственной деятельности. Структура этих особенностей очень явно проявляется на первом этапе взаимодействия человека и машины, т.е. на первом этапе обучения.

Известно, что процесс обучения представляет собой образование временных и пространственных связей, определяющих в конечном итоге характерную для данного вида деятельности функциональную систему. Скорость и прочность образования этих связей определяются свойствами первой системы, т.е. носят типологический характер. Поэтому современная методология обучения исходит из необходимости учета индивидуальных психических и психофизиологических особенностей человека, а следовательно, индивидуального подхода к составлению и реализации обучающих программ деятельности.

Анализируя результаты процесса обучения, условно можно выделить три уровня подготовленности.

Требования при обучении *на первом уровне* заключаются в формировании полной ориентировочной основы действий обучаемого, базирующейся только на умении. Основные требования этого уровня заключаются в выполнении действий по изменению состояния системы, по контролю ее состояния и переходу от операции к операции.

Исполнитель не представляет изменений, происходящих в системе, не читает объекта управления и не представляет, как происходит управление объектом. Исполнитель может работать как оператор у пульта управления и выполнять действия по контролю как отдельной операции, так и процесса в целом. Причем работа производится только по предписанной инструкции. Познавательная деятельность исполнителя в этом случае весьма ограничена, хотя, работая безошибочно, он обеспечит требуемую надежность в системе. В этом случае надежность (безотказность) ЭИС будет не выше критерия безотказности КТС ЭИС, т.е.

$$P_{c_i}(t)_I \leq P_{ty}(t), \quad (4.6)$$

где  $P_{c_i}(t)_I$  – вероятность безотказного выполнения системой  $i$ -й функции, если обслуживающий персонал подготовлен на первом уровне;  $P_{ty}(t)$  – вероятность безотказной работы технических средств (является известной величиной, полученной в результате конструкторских расчетов).

На этом уровне подготовленности исполнитель не в состоянии отыскать неисправности и привести систему в исправное и работоспособное состояние. Основным преимуществом подготовки специалистов на данном уровне является небольшой объем информации, предназначенный для усвоения. Следовательно, уменьшаются затраты времени на подготовку обслуживающего персонала и удешевляется организация учебного процесса.

*При втором уровне подготовленности* исполнитель уже представляет себе технологическую сущность процесса, происходящего в системе. Он должен работать, понимая сущность происходящих явлений и процессов. На этом уровне предусматривается обеспечение возможности безошибочной и безопасной работы. Исполнитель должен производить поиск и обнаружение неисправности, а также замену неисправного элемента системы на исправный, реагировать на аварийную ситуацию и возвращать систему в исправное состояние.

Недостатки второго уровня обученности:

- неполная ориентировочная основа действий, привитая в процессе обучения;
- неумение исполнителя производить поиск и идентификацию неисправности в элементах системы.

Для овладения работой на данном уровне необходимо знать принципиальную схему и конструкцию системы. Специалист при появлении ошибки или аварийной ситуации должен восстановить неисправное состояние системы путем замены неисправного элемента системы (узла, блока) на исправный.

В этом случае вероятность безотказного выполнения системой  $i$ -й функции может быть выражен как:

$$P_{c_i}(t)_{II} \leq P_{ty}(t) + [1 - P_{ty}(t)]P_B(t), \quad (4.7)$$

где  $P_B(t)$  – вероятность восстановления в течение заданного времени ( $t$ ) способности системы к выполнению  $i$ -й функции путем замены исполнителем неисправных элементов (блоков, узлов) на исправные из ЗИПа.

Можно отметить, что  $P_{c_i}(t)_{II} \geq P_{c_i}(t)_I$ .

*Третий уровень* является уровнем подготовленности специалистов высокой квалификации, способных устранить неисправность в системе до элемента. Специалист с такой подготовкой должен ясно представлять себе связи, существующие между конструктивными элементами системы.

Вероятность безотказного выполнения системой  $i$ -й функции может быть выражена следующим образом:

$$P_{c_i}(t)_{III} \leq P_{ty}(t) + [1 - P_{ty}(t)]P_B(t) + \{1 - P_{ty}(t) - [1 - P_{ty}(t)]P_B(t)\}P_B(t), \quad (4.8)$$

где  $P_v(t)$  – вероятность восстановления специалистом элементов, вышедших из строя (отказавших) за время  $t$ , не входящих в состав ЗИПа.

Существенным недостатком данного уровня является необходимость в процессе подготовки усваивать в десятки, сотни раз больший объем информации, чем на предыдущем уровне. Это влечет за собой необходимость увеличения времени обучения специалистов, а что в свою очередь вызывает необходимость дополнительных материальных затрат.

Таким образом, мы видим, что первый уровень обученности допустим в массовых случаях. Второй уровень необходим для подавляющего числа случаев. Третий уровень необходим для определенной группы специалистов.

Если учесть экономический критерий, то появится оптимизационная задача: "Сколько специалистов I, II и III уровней необходимо иметь, например, в ЭИС?".

#### 4.4 Методика оценки надежности эргономической составляющей

Оценка надежности эргономической составляющей предполагает выполнение следующих работ.

1 Конкретизация понятия отказа и его критериев. Понятие допущений, соглашений и ограничений. Решение этих вопросов зависит от цели, с которой осуществляется исследование надежности и условий проведения оценки. В конкретном случае в техническом задании на создание ЭИС приводится перечень отказов и их критериев.

2 Определение спектра допустимых проектных решений с точки зрения удельного веса работ, выполняемого человеческим звеном, в общем объеме работ в процессе обработки информации. Определение перечня операций, для которых контроль отсутствует.

3 Построение укрупненной схемы, отображающей процесс решения задачи в ЭИС и место человека-оператора в нем.

4 Декомпозиция сложных моделей на элементарные, отображаемые типовыми или уникальными моделями. При этом допустимо абстрагирование от выделения тех компонентов процесса, в которых человек не принимает непосредственного участия. Обычно выделяются функциональные единицы (ФЕ) и операционные единицы (ОЕ). Операционная единица представляет собой некоторый психофизический акт, имеющий место в процессе работы человека (например, нажатие клавиши, набор команды, выдача или прием команды или другой информации по телефонным или телеграфным каналам связи и т.д.). Взаимосвязанная совокупность ОЕ образует функциональные единицы. Они бывают основными и контрольными (например, подготовка рабочего места, установка диска в дисковод, включение компьютера и принтера и т.д.). Если для характеристики параметров ОЕ осуществляется сбор, обработка и анализ статистических данных, то параметры ФЕ определяются на основании их структуры и состава ОЕ и их соответствующих характеристик. При этом могут быть использованы все модели достоверности.

5 Построение графической модели и проведение ее разметки (определение времени выполнения операции  $t$ , вероятности безошибочности ее выполнения  $\beta'$ , потерь машинного времени вследствие ошибок человеческого звена  $t_n$ ).

6 Построение аналитической модели надежности эргономической составляющей ЭИС, соответствующей процессу решения задачи в ней.

7 Расчет вероятности безошибочности выполнения всех операций  $V'$ , среднего времени выполнения процесса с учетом исправления ошибок  $T$ , вызванных ошибками человека-оператора  $C_n$ .

8 Анализ результатов с одновременной оценкой исследуемого варианта организации процесса обработки информации в ЭИС, формулирование выводов и предложений.

*Пример.* Процесс решения некоторой эргономической задачи в ЭИС предполагает выполнение ряда операций человеком-оператором, перечень которых приведен в табл. 4.1. с указанием соответствующих им характеристик, установленных экспериментальным путем. Себестоимость часа машинного времени  $C$  ориентировочно составляет 4500 руб. Требуется рассчитать вероятность безошибочности выполнения всей работы, оценить потери вследствие ошибок оператора и время выполнения всех операций, если известно, что программный контроль действий оператора, позволяющий обнаружить его ошибку с вероятностью  $K^{00} = 0,8$ , выполняется в течение 200 с.

№	Действие оператора	Время выполнения $t$ , с	Вероятность безошибочности выполнения $\beta'$	Потери машинного времени $t_{п}$ , с
1	Подготовка ПЭВМ к работе и установка ГМД	120	0,91	200
2	Вызов программы	2	0,99	30
3	Ввод параметров решения задачи	180	0,92	3600
4	Обнаружение сигнала и принятие решения	8	0,93	3600
5	Обработка данных без оператора	3600	1	0
6	Обнаружение сигнала об окончании и принятие решения	8	0,93	3600

Для упрощения расчетов принимаются следующие допущения:

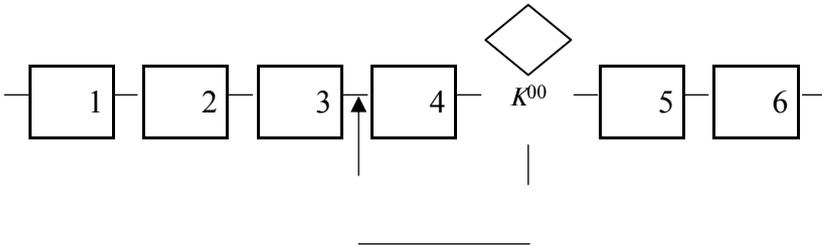
- зависимость вероятности безошибочности работы оператора от выполнения операций аппроксимируется экспоненциальным законом;
- допустимо абстрагирование от операций, не выполняемых оператором;
- сбои технических и программных средств не учитываются;
- ошибки оператора приводят к искажению информации.

*Решение:*

1 Графическая модель будет иметь следующий вид

$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$		$t_5$	$t_6$
=	=	=	=		=	=
1	2	1	8	$K_{00}$	3	8
2		8		=	6	
0	$\beta'$	0	$\beta'$	=	0	$\beta'$
	2		4	0,	0	6
$\beta'$	=	$\beta'$	=	8		=
1	0,	3	0,		$\beta'$	0,
=	9	=	9	$t_k$	5	9
0,	9	0,	3	=	=	3
9		9		2	1	
	$t_{п}$		$t_{п}$	0		$t_{п}$

1	2	2	4	0	$t_{п}$	6
	=		=			=
$t_{п}$	3	$t_{п}$	3		5	3
	=		=			=
1	0	3	6		0	6
	=		=			=
2		3	0			0
	=		=			=
0		6				0
	=		=			=
0		0				0
	=		=			=
0		0				0



2 Аналитическая модель представлена следующим образом:

$$B' = \beta'_1 \beta'_2 \beta'_3 \frac{\beta'_4}{1 - (1 - \beta'_4) K^{00}} \beta'_5 \beta'_6 = 0,7593. \quad (4.9)$$

3 Средняя длительность выполнения операций в процессе решения задачи определяется как

$$T = t_1 + (1 - \beta'_1)t_{п1} + t_2 + (1 - \beta'_2)t_{п2} + t_3 + (1 - \beta'_3)t_{п3} + t_4 + (1 - \beta'_4)t_{п4} + \\ + t_5 + (1 - \beta'_5)t_{п5} + t_6 + (1 - \beta'_6)t_{п6} = 1,23. \quad (4.10)$$

4 Потери, вызванные ошибками оператора, равны

$$C_{п} = c((1 - \beta'_1)t_{п1} + (1 - \beta'_2)t_{п2} + (1 - \beta'_3)t_{п3} + (1 - \beta'_4)t_{п4} + \\ + (1 - \beta'_5)t_{п5} + (1 - \beta'_6)t_{п6}) / 3600 \approx 7600 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

#### 4.5 Пути повышения надежности эргономической составляющей

Для повышения надежности эргономической составляющей ЭИС используются методы контроля функционирования систем, обучение операторов, введение избыточности.

Основная цель контроля функционирования любой ЭИС состоит в умении оценивать текущие ее состояния (операторов, в частности) и осуществлять проверку их соответствия требуемому качеству функционирования системы путем составления суждения и принятия решения по управлению состояниями ЭИС в целях обеспечения требуемого качества ее функционирования.

Информационная модель контроля состояния ЭИС определяется двумя основными принципами:

- управленческим (структурным) согласованием информационных потоков;
- информационным (функциональным) согласованием информационной среды в эрготическом контуре управления системой.

Информационные потоки в ЭИС организуются таким образом, чтобы удовлетворять специфике и ограниченным возможностям организма оператора. Необходима адаптация деятельности оператора к особенностям технических средств.

Задача контроля состоит в формировании входных характеристик ЭИС, определении выходных параметров (результатов функционирования ЭИС) и оценке ее состояний (или состояний параметров) по некоторому критерию в целях сравнения текущих состояний с допустимыми.

При выполнении рабочих заданий человек-оператор может допускать ошибки, которые формируют тот или иной уровень надежности (либо качество) функционирования системы, причем контроль осуществляется путем организации контуров обратной связи. Различаются внутренние контуры обратной связи, т.е. контуры контроля и управления состояниями операторов, внешние контуры обратной связи, включающие в себя контуры результатов функционирования всей системы и контуры адаптации с внешней средой (социальной или экологической). Если сформировать критерий контроля состояний в виде наглядного образа – эрготического портрета (психофизического состояния) оператора, затем этот критерий вывести во внутренний контур обратной связи (контур контроля и управления состояниями операторов), то появляется возможность контролировать и управлять состояниями операторов ЭИС в диалоговом режиме, что позволяет резко повысить надежность и качество ее функционирования.

Опыт эксплуатации автоматизированных систем показывает, что около трети всех отказов системы происходит вследствие недостаточной подготовленности обслуживающего персонала. В ряде случаев снижение надежности системы за счет этого фактора бывает настолько велико, что практически сводит к нулю высокий исходный коэффициент ее надежности. Несмотря на специальную подготовку оператор иногда допускает ошибки, применяя непригодный в данный момент алгоритм действий. Причины таких ошибок многообразны, но специальный психологический анализ показывает, что многие из них являются следствием недостатков организации обучения и отсутствия достаточно обоснованных критериев необходимой степени обученности.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Дайте понятие надежности эргономической составляющей.
- 2 Охарактеризуйте подходы, используемые при анализе функционирования ЭИС.
- 3 Перечислите основные принципы построения системы "человек-оператор"
- 4 Поясните, в чем состоит важность показателя "коэффициент готовности оператора".
- 5 Охарактеризуйте достоинства, недостатки и особенности трех уровней обученности исполнителей в ЭИС.
- 6 Перечислите основные работы по оценке надежности эргономической составляющей ЭИС.
- 7 Охарактеризуйте два основных принципа создания и функционирования информационной модели состояний ЭИС.

## **Глава 5 НАДЕЖНОСТЬ АДАПТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭИС**

### **5.1 Понятие адаптивности систем**

Практически все действующие ЭИС, особенно в тех случаях, когда они являются основой соответствующих автоматизированных систем, подвергаются усовершенствованию в процессе эксплуатации. Поэтому повышение эффективной надежности большинства современных ЭИС сдерживается низким уровнем функциональной составляющей их надежности, зависящей от ее адекватности, соответствующей экономической системе объекта управления на некотором интервале времени. В свою очередь адекватность ЭИС обеспечивается их адаптацией к изменяющимся характеристикам экономических систем.

Процесс адаптации ЭИС может происходить как путем создания модифицированной версии системы чаще всего с использованием средств ее первоначального проектирования, так и на основе интерпретации параметров систем обработки, актуализируемых при изменении соответствующих характеристик ЭИС. На практике используются некоторые комбинации названных приемов адаптации, когда стабильные, относительно редко изменяемые параметры являются основой генерируемой части системы, а часто изменяемые параметры интерпретируются в процессе ее функционирования.

Экономические информационные системы характеризуются некоторым уровнем вариабельности (изменчивости), который может быть оценен коэффициентом вариабельности

$$K^B = \frac{\Pi^{\mathcal{B}}}{\Pi^{\mathcal{B}} + C^{\mathcal{B}}}, \quad (5.1)$$

где  $\Pi^{\mathcal{B}}$  – количество параметров ЭИС, сохраняющих свое постоянное значение лишь в заданных условиях (время, объект, исходные данные, техника и т.д.);  $C^{\mathcal{B}}$  – количество стабильных характеристик ЭИС, не изменяющихся с течением времени.

Для обеспечения оптимального уровня эффективной надежности ЭИС коэффициент  $K^B$  должен быть равен коэффициенту адаптивности используемой системы

$$K = \frac{\Pi^C}{\Pi^C + C}, \quad (5.2)$$

где  $\Pi^C$  – количество параметров ЭИС;  $C$  – количество стабильных характеристик.

Недостатком данной оценки является большая трудоемкость определения всех характеристик ЭИС (она равна трудоемкости индивидуального проектирования). Кроме того, в данном случае не учитывается качественный состав параметров ЭИС и соответствующей ЭИС. Поэтому для определения требований к адаптивности ЭИС ограничиваются изучением лишь важнейших характеристик ЭИС, определяющих необходимый количественный и качественный состав адаптивных свойств ЭИС.

Под адаптивными свойствами понимаются также свойства ЭИС, которые позволяют оперативно (без лишних затрат) модернизировать функционирующую систему в соответствии с изменениями организационной структуры, методов управления, вычислительной техники и т.д. [18].

## 5.2 Классификация адаптивных свойств

Как уже отмечалось, конкретный состав адаптивных свойств должен определяться для каждой ЭИС в отдельности с учетом ее специфики.

Однако на основании анализа опыта создания и функционирования ЭИС определено, что при их разработке в общем случае целесообразно руководствоваться следующими требованиями:

- система должна быть инвариантна типу и количеству применяемых технических средств (АС-ТС);
- система должна иметь возможность настраиваться на внешнюю и внутреннюю информационную среду, включая параметры информационных потоков (АС-ИС);
- система должна адаптироваться к изменению реализуемых ею экономико-организационных моделей (АС-ЭОМ);
- система должна иметь возможность настройки на программную среду (АС-ПО);
- система должна иметь средства адаптации технической документации (АС-ТД).

В соответствии с данными требованиями верхние уровни иерархической классификации адаптивных свойств (АС) ЭИС могут быть представлены следующим образом:

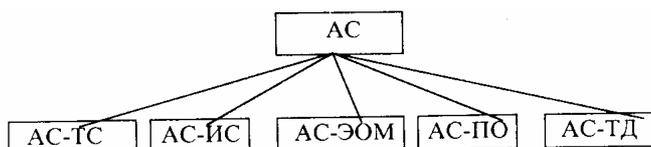


Рис. 5.1 Классификация адаптивных свойств

Отображенные на втором уровне совокупности свойств (АС-ТС и т.д.) могут быть расчленены на более мелкие классификационные группировки, которые в свою очередь могут детализироваться с получением следующего уровня иерархии и т.д. Вся совокупность адаптивных свойств может быть отображена древовидным ориентированным графом. В качестве примера на рис. 5.2 представлен граф, отображающий детализацию совокупности свойств АС-ИС. Необходимо учитывать, что чем больше адаптивных свойств реализует ЭИС, тем более трудоемка ее модернизация, т.е. меньше  $\mu_{\phi}$ .

### 5.3 Интегральная оценка адаптивности

Каждая из вершин рассматриваемого графа (рис. 5.1, 5.2) представляет адаптивное свойство того или иного уровня в классификационной иерархии, корень графа – полное множество адаптивных свойств. Множество дуг графа является отображением разбиения отдельных подмножеств адаптивных свойств на подмножества иерархически более низкого уровня (ранга) или элементарные адаптивные свойства, т.е. такие, которые не являются совокупностью двух или более других адаптивных свойств. Для оценки степени адаптивности систем введем следующее требование: если каждому из подмножеств  $a_i, i = \overline{1, n}$ , полученных при разделении исходного множества  $A$ , присвоить некоторый весовой коэффициент  $V_i$ , то всегда должно выполняться условие  $\sum_{i=1}^n V_i = 1$ . Основным фактором, влияющим на выбор значений

весовых коэффициентов, является частота использования соответствующего адаптивного свойства (при проектировании, функционировании, модернизации). Очевидно, что определяемые таким образом веса носят экспертный характер. Определим вес  $j$ -й вершины (нумерация вершин идет от корня дерева ( $j = 0, 1, \dots, k, \dots, m$ )) по отношению к  $k$ -й вершине следующим образом:

$$D_j = \prod_{V_i \in W_{kj}} V_i, \quad (5.3)$$

где  $D_j$  – вес вершины  $a_i$ ;  $W_{kj}$  – множество дуг, определяющих путь от вершины  $a_k$  до вершины  $a_j$ .

Предполагается, что  $k < j$ . Если  $k = 0$ , т.е. будем определять веса вершин древовидного графа по отношению к корню, то полученные таким образом веса вершин графа будем называть абсолютными.

Показатель интегральной оценки адаптивности определим следующим образом:

$$D_0 = \sum_{D_j \in W} D_j, \quad (5.4)$$

где  $W$  – множество конечных (элементарных) вершин графа;  $D_j$  – абсолютная оценка  $j$ -го адаптивного свойства.

Подставляя формулу (5.3) в (5.4), получаем следующее выражение

$$D_0^3 = \sum_{D_j \in W} \prod_{V_i \in W_j} V_i. \quad (5.5)$$

Отсюда следует:  $\max D_0^3 = 1$ , т.е. интегральная оценка, соответствующая графу адаптивных свойств, полученному на основании анализа ЭИС, всегда равна 1. При оценке адаптивности ЭИС (в общем случае их может быть несколько) рассматриваемая оценка будет иметь вид

$$D^e = \sum_{D_j \in W} \prod_{V_i \in W} V_i h_i, \quad (5.6)$$

где  $h_i$  – коэффициент, отражающий степень реализованности адаптивного свойства  $a_i$ ,  $0 \leq h \leq 1$  (если адаптивное свойство  $a_i$  реализовано в полном объеме, то  $h_i = 1$ , в противном случае  $h_i = 0$ ).

*Пример.* Из материалов обследования выявлено, что ЭИС, реализующая обработку статистической отчетности, должна обладать адаптивными свойствами, состав которых отображен на рис. 5.3.

В табл. 5.1 приведены усредненные параметры, характеризующие некоторую типовую задачу, реализуемую системой (в таблице использованы условные обозначения, введенные в разделе 5.2.) Интенсивность внесения изменений в содержание функций, выполняемых ЭИС,  $\lambda_{\phi} = 0,5 \frac{1}{\text{год}}$ .

Таблица 5.1

$a_{e, \gamma}$	$B^{\alpha, \lambda}$ (создания)	$B^{\alpha, \lambda}$ (модернизации)	$r^{\beta, t, s}$
1,18	1,16	0,71	57

С точки зрения выполняемых функций для реализации рассматриваемой ЭИС могут быть использованы функциональные пакеты ППП1 или ППП2. Результаты анализа данных пакетов (значения  $h_i$ ) приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$h_i$ ППП1	0,8	0,9	0,5	0	0,5	0,8	0,8	0,9	0,5	0,9
$h_i$ ППП2	0,9		0,7	0,5	0,8	0,6	0,9	1	0,7	0,5

Значения поправочных коэффициентов, учитывающих уменьшение трудоемкости программирования при использовании ППП1 и ППП2, соответственно равны  $q_1 = 0,7$  и  $q_2 = 0,6$ .

Требуется выбрать ППП на основе интегральной оценки адаптивности ППП1 и ППП2. Для выбранного ППП определить значение коэффициента функциональной готовности.

*Решение.*

1 На основании значений весовых коэффициентов, характеризующих дуги графа, изображенного на рис. 5.3, определяем требуемые абсолютные веса ( $D_j^A$ ) вершин  $a_4 \dots a_{13}$ :

$$D_4^A = V_1 V_4 = 0,3 \cdot 0,33 = 0,099 ;$$

$$D_5^A = V_1 V_5 = 0,3 \cdot 0,33 = 0,099 ;$$

$$D_6^A = 0,1 \cdot 0,33 = 0,033 ;$$

$$D_7^A = 0,3 \cdot 0,33 = 0,099 ;$$

$$D_8^A = 0,4 \cdot 0,33 = 0,132 ;$$

$$D_9^A = 0,6 \cdot 0,33 = 0,198 ;$$

$$D_{10}^A = 0,3 \cdot 0,34 = 0,102 ;$$

$$D_{11}^A = 0,3 \cdot 0,34 = 0,102 ;$$

$$D_{12}^A = 0,1 \cdot 0,34 = 0,034 ;$$

$$D_{13}^A = 0,3 \cdot 0,34 = 0,102 .$$

2 На основании полученных результатов и данных табл. 5.2 в соответствии с формулой (5.6) определяем фактическую интегральную оценку адаптивности ППП1 ( $D_{\text{ППП1}}^\Phi$ ) и ППП2 ( $D_{\text{ППП2}}^\Phi$ ):

$$D_{\text{ППП1}}^\Phi = \sum_{j=4}^{13} D_j^A h_j^{\text{ППП1}} = 0,69156 ;$$

$$D_{\text{ППП2}}^\Phi = \sum_{j=4}^{13} D_j^A h_j^{\text{ППП2}} = 0,7537 ,$$

т.е. адаптивные свойства ППП2 в большей степени соответствуют требованиям, предъявляемым к рассматриваемой ЭИС.

3 Используя данные табл. 5.1 и заданное значение поправочного коэффициента  $q_2$ , рассчитываем ориентировочную трудоемкость изменения программного обеспечения ( $T_n$ ) при функциональных отказах:

$$T_{\Pi} = q_2 a_{e,\gamma} B_{\text{мод}}^{\alpha,\lambda} r^{\beta,t,s} = 20,29 \text{ чел.-дня.}$$

Для учета работ, не связанных непосредственно с разработкой программ, введем поправочный коэффициент  $K = 2$  (см. раздел 5.2). Тогда средняя трудоемкость модернизации одной задачи в случае использования ППП2 равна:

$$\bar{T}_{\text{мод}} \approx 41 \text{ чел.-день.} \approx 0,11 \text{ чел.-года.}$$

4 Исходя из предложения, что модернизация начинается сразу после функционального отказа и осуществляется одним человеком, коэффициент функциональной готовности решаемой задачи будет равен:

$$K_{\phi} = \frac{9,09}{0,5 + 9,09} = 0,95.$$

#### 5.4 Методика оценки надежности адаптивной составляющей

Выбор средств и методов создания системы, уточнение ожидаемого эффекта с учетом возможных отказов, определение трудоемкости, стоимости, времени модернизации системы – вот далеко не полный перечень вопросов, решение которых сопряжено с оценкой надежности адаптивной составляющей ЭИС.

Для количественной комплексной оценки надежности адаптивной составляющей с учетом как потока отказов, так и потока восстановлений может быть использована формула коэффициента эксплуатационной надежности, которая в данном случае будет иметь следующий вид:

$$P_a(\tau) = K_f P_f(\tau), \quad (5.7)$$

где  $P_a(\tau)$  – коэффициент надежности адаптивной составляющей ЭИС;  $K_f$  – коэффициент готовности функциональной части ЭИС;  $P_f(t)$  – вероятность безотказности функциональной части системы в течение времени  $\tau$ .

Вследствие того, что время однократного решения задачи не превышает несколько часов, а среднее время между функциональными отказами изменяется, как правило, в годах,  $P_f(\tau) \approx 1$ . Следовательно, в предположении об экспоненциальном характере функций вероятности безотказности и восстановлений имеем

$$P_a = \frac{\mu_f}{\lambda_f + \mu_f}, \quad (5.8)$$

где  $\mu_f$  – интенсивность восстановлений;  $\lambda_f$  – интенсивность отказов функциональной части ЭИС.

Необходимо отметить, что данная формула может быть использована лишь при укрупненных расчетах, когда ЭИС рассматривается как элемент некоторой системы более высокого уровня, и при примерном равенстве значений надежности адаптивной составляющей всех блоков системы (блоков ввода и контроля информации, загрузки информации в базу данных, выборки информации из баз данных, расчета результатных показателей, отображения информации в удобном для пользователя виде и т.д.). В противном случае возникает необходимость расчета надежности адаптивной составляющей каждого отдельного блока и определения связей (в смысле надежности) между ними.

Основным типом связи между блоками для большинства существующих ЭИС является их последовательное соединение. В данном случае коэффициент адаптивности системы определяется следующим образом:

$$K_S = \prod_{i \in W_S} K_i, \quad (5.9)$$

где  $K_S$  – коэффициент адаптивности системы  $S$ ;  $K_i$  – коэффициент адаптивности  $i$ -го блока системы  $S$ ;  $W_S$  – множество последовательно соединенных блоков, входящих в систему  $S$ .

Значительно реже встречающееся в настоящее время параллельное соединение блоков предполагает наличие в системе функциональной избыточности, когда одной и той же функции ЭИС соответствует несколько компонентов, характеризующихся различными значениями производительности и ин-

тенсивности восстановлений. Введение подобной избыточности становится рациональным, когда некоторая часто реализуемая функция характеризуется относительно большой вероятностью изменения в течение исследуемого периода.

В общем случае процесс оценки надежности адаптивной составляющей ЭИС в условиях использования средств автоматизации проектирования включает построение унифицированной модели системы, разработку ее машинного отображения, автоматизированный расчет показателей, характеризующих надежность оцениваемых вариантов организации ЭИС.

При построении унифицированных моделей проводят следующие работы:

1 Уточнение понятия отказа системы вследствие изменения ее функций. Понятие отказа конкретизируется в соответствии с целями исследования надежности системы, такими как оценка вероятности получения ожидаемого эффекта, оценка затрат на модернизацию и т.д. В первом случае под отказом ЭИС вследствие изменения содержания ее функций следует понимать неполучение пользователем результатной информации. Во втором случае отказ ЭИС отождествляется с отказом ее функциональной части.

2 Понятие допущений и ограничений. Обосновывается, например, аппроксимация распределения вероятности безотказной работы системы экспоненциальным законом, оговаривается характер восстановления (например, полностью ограниченное обслуживание) и т.д. В некоторых случаях для уменьшения трудоемкости оценки бывает полезно абстрагироваться от некоторых несущественных деталей расчета.

3 Определение множества допустимых вариантов организации ЭИС в заданных условиях ее создания и функционирования (выделяемые средства на проектирование, используемая техника, операционная система, наличие типовых проектных решений, ППП, САПР и т.д.).

4 Декомпозиция систем и построение структурных схем их надежности.

5 Построение обобщенной схемы надежности, учитывающей параметры всех рассматриваемых вариантов.

6 Разработка математической модели на основе обобщенной схемы надежности.

7 Анализ состава исходных данных, необходимых для реализации модели и доступных на различных стадиях жизненного цикла ЭИС. Определение способов восполнения недостающей информации, соответствующая доработка модели.

8 Описание моделей с использованием языковых конструкций, близких к языкам соответствующих средств автоматизации проектирования.

9 Формирование машинного отображения модели, его отладка и апробация.

Автоматизированная оценка показателей надежности адаптивной составляющей ЭИС с использованием разработанной унифицированной модели предполагает сбор исходных данных, их обработку и анализ. В случае необходимости в модель вносятся изменения и проводятся повторные расчеты. Важнейшими исходными данными для проведения расчетов являются сведения об интенсивностях отказов и восстановлений, данные о затратах на создание и эксплуатацию ЭИС и т.д. Интенсивность отказов функциональной части системы или ее компонентов определяется на основании материалов обследования, а также данных о внесении изменений в аналогичные, ранее решавшиеся задачи. В общем случае интенсивность отказов рациональнее определять не для каждой отдельной задачи, решаемой на некотором объекте, а по группам задач, характеризующихся однородной функциональной изменчивостью (например, в группы могут быть объединены задачи, содержание которых корректируется при изменении отдельных форм статистической отчетности, плановой, нормативной документации и т.д.). Тогда определение интенсивности отказов предполагает:

- сбор информации об отказах функциональной части за некоторый интервал времени по однородной совокупности объектов (например, группе сопоставимых предприятий, относящихся к одной отрасли, и т.д.);

- кластерный анализ исходной информации с получением групп задач, характеризующихся однородной функциональной изменчивостью;

- расчет интенсивности отказов по каждой группе. Интенсивность восстановления зависит от трудоемкости внесения изменений в ЭИС, длительности восстановления, возможностей персонала, занятого поддержанием системы в работоспособном состоянии, интенсивностей потоков отказов других ЭИС, приоритета системы и т.д.

Определение интенсивности восстановлений ЭИС в целом или отдельных ее блоков предполагает, в первую очередь, оценку среднего времени восстановления работоспособности системы. Основой такой оценки становится выявление и использование функциональных зависимостей, аппроксимирующих существующие, как правило, стохастические связи между важнейшими характеристиками систем (блоков) и трудоемкостью их модернизации. При проведении такой оценки могут быть использованы известные приемы и методы определения трудоемкости программирования [5, 13, 19]. На основании рассчитанной трудоемкости модернизации, а также сведений о численности персонала, занятого поддержанием системы в работоспособном состоянии, и интенсивностей потоков отказов других обслуживаемых ЭИС могут быть определены среднее время модернизации и интенсивность восстановлений отдельных блоков и системы в целом.

### 5.5 Автоматизация оценки надежности адаптивной составляющей

Автоматизацию оценки надежности адаптивной составляющей можно рассмотреть на примере ЭИС, включающей  $n$  последовательно соединенных блоков. Для всех исследуемых вариантов организации ЭИС, в процессе построения унифицированной модели, могут быть определены следующие параметры входящих в них блоков:

- приведенные затраты на создание  $i$ -го блока  $C_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), тыс. руб.;
- годовые затраты на функционирование  $f_i$ , тыс. руб.;
- затраты на единовременную модернизацию  $m_i$ , тыс. руб.;
- интенсивность изменения функций, реализуемых  $i$ -м блоком,  $\lambda_i$ ;
- интенсивность восстановления  $i$ -го блока  $\mu_i$ .

По каждому варианту организации ЭИС, как правило, известны:

- уменьшение годовой прибыли (экономии) вследствие отказа системы  $S_j$ , тыс. руб.;
- среднее количество решений задачи в течение года  $r_j$ .

Для упрощения расчетов предполагается, что восстановление системы начинается сразу после отказа и выполняется одним исполнителем.

Расчет надежности адаптивной составляющей  $j$ -го варианта системы, включающего  $n_j$  блоков, можно представить следующим образом:

- 1 Для каждого  $j$ -го блока определяется коэффициент его адаптивности

$$K_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_{ij} + \lambda_{ij}}. \quad (5.10)$$

- 2 Рассчитывается коэффициент адаптивной составляющей  $j$ -го варианта системы в целом

$$K_j = \prod_{i=1}^{n_j} K_{ij}. \quad (5.11)$$

- 3 Определяются приведенные затраты на создание  $C_j$ , функционирование  $F_j$ , модернизацию  $M_j$   $j$ -го варианта системы

$$C_j = \sum_{i=1}^{n_j} C_{ij}; \quad F_j = \sum_{i=1}^{n_j} f_{ij}; \quad M_j = \sum_{i=1}^{n_j} m_{ij} \lambda_{ij}. \quad (5.12)$$

- 4 Вычисляются среднегодовые потери функциональной части СОД:

$$\bar{S}_j = (1 - K_j) z_j r_j. \quad (5.13)$$

Эти расчеты можно производить с использованием средств табличного процессора, например Excel. С его помощью можно реализовать алгоритмы расчета значений параметров всех блоков, входящих в некоторый вариант организации ЭИС. В первых трех строках целесообразно представить результатные показатели, характеризующие систему в целом. Для данных строк на экране дисплея выделяется специальное окно, которое позволяет постоянно следить за их изображением и изменением в случае изменения параметров отдельных блоков. Исходными данными для проведения расчетов являются:  $C_i, f_i, m_i, \lambda_i, \mu_i, S_i, r_i$ .

Каждой графе может быть сопоставлен свой вариант организации ЭИС, в которой осуществляется его оценка, учитывая полную идентичность исходных унифицированных алгоритмов. С помощью табличного процессора можно получить результаты оценки нескольких вариантов организации ЭИС.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Объясните, каким образом обеспечивается адаптация к изменяющимся характеристикам объекта хозяйствования и среды.
- 2 Изложите основные требования, которыми следует руководствоваться при создании и функционировании ЭИС.
- 3 Назовите и охарактеризуйте работы, выполняемые при построении моделей оценки надежности адаптивной составляющей ЭИС в условиях автоматизации проектирования.
- 4 Дайте сравнительную характеристику работ, выполняемых при определении интенсивности отказов и интенсивности восстановлений функциональной части ЭИС.
- 5 Изложите основные этапы расчета надежности адаптивной составляющей ЭИС.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. Т. 23. С. 6; Т. 24. С. 241.
- 2 Баруча Рид А. Т. Элементы теории марковских процессов и их приложения / Пер. с англ. М.: Наука, 1969. 511 с.
- 3 Бобков В. П., Казмирчук В. М., Морозов Ю. Д., Франчук В. И. Обеспечение надежности автоматизированных экономических информационных систем. М.: МЭСИ, 1989. 142 с.

- 4 Бобков В. П., Завьялкин Д. В., Веппле И. В. Адаптивная система оценки проектных решений СМОД. М.: МЭСИ, 1989. 155 с.
- 5 Бозм Б. и др. Характеристики качества программного обеспечения. М.: Мир, 1981.
- 6 Винер Н. Кибернетика и общество. М.: Мир, 1958. 120 с.
- 7 Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1962.
- 8 Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргономических систем. Л.: Наука, 1982.
- 9 Исикава К. Японские методы управления качеством. М.: Экономика, 1988.
- 10 Качество-прогресс-экономика // Экономика, политика, идеология. США, 1988. № 11 (227).
- 11 Международные стандарты. Управление качеством продукции. ИСО 9000 – ИСО 9004, ИСО 8402: 1994 (E/F/R).
- 12 Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.: Экономика, 1979.
- 13 Мишенин А. И., Твердохлиб И. П., Тельнов Ю. Ф. Расчет времени решения задач на ЭВМ. М.: МЭСИ, 1984.
- 14 Морозов Ю. Д., Ильин И. И. Методы обеспечения качества и надежности проектов автоматизированных систем. М.: МЭСИ, 1990. 10 с.
- 15 Пивоваров А. Н. Методы обеспечения достоверности информации в АСУ. М.: Радио и связь, 1982. 144 с.
- 16 Синавина В. С. Методы обеспечения качества экономической информации при проектировании систем ее обработки. М.: Знание РФ, 1993. 178 с.
- 17 Федорова Г. С., Морозов Ю. Д. и др. Автоматизированные системы управления. М.: Легпром-бытиздат, 1993. 176 с.
- 18 Хотяшов Э. Н., Побуковский М. Г. Адаптация в системах обработки экономической информации. М.: Финансы и статистика, 1982. 102 с.
- 19 Шураков В. В. Надежность программного обеспечения систем обработки данных. М.: Финансы и статистика, 1987. 216 с.
- 20 Морозов Ю. Д., Бобков В. П. Качество, надежность и эффективность экономических информационных систем. М.: МЭСИ, 1996. 185 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
<b>Глава 1 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ</b> .....	5
1.1 Понятия и определения теории надежности .....	5
1.2 Основные функции распределения вероятностей случайных величин .....	13
1.3 Законы распределения времени безотказной работы системы .....	15
1.4 Показатели надежности ЭИС .....	20
1.5 Надежность взаимосвязанных элементов системы ...	28
1.6 Марковские процессы в теории надежности .....	30
1.7 Специфика ЭИС как объекта исследования надежности .....	35
<b>Глава 2 НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОГРАММНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭИС</b> .....	43
2.1 Методы оценки надежности технической и технологической составляющих .....	43
2.2 Оценка надежности технологической составляющей .....	43
2.3 Направления повышения надежности технических средств .....	60

2.4	Автоматизация расчетов надежности технической и технологической составляющих .....	62
2.5	Специфика оценки и направления повышения надежности программного обеспечения .....	66
<b>Глава 3</b>	<b>КАЧЕСТВО И НАДЕЖНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭИС</b> .....	73
3.1	Информация как продукт ЭИС .....	73
3.2	Качество информации и методология ее оценки ..	74
3.3	Классификация и анализ ошибки в экономической информации .....	82
3.4	Методы обеспечения достоверности информации	84
3.5	Оценка достоверности информации .....	88
<b>Глава 4</b>	<b>НАДЕЖНОСТЬ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭИС</b> .....	99
4.1	Понятие надежности эргономической составляющей ЭИС .....	99
4.2	Моделирование и оценка безошибочности выполнения функций человеком-оператором .....	101
4.3	Оценка надежности и эффективности ЭИС по уровню обученности специалистов .....	102
4.4	Методика оценки надежности эргономической составляющей .....	105
4.5	Пути повышения надежности эргономической составляющей .....	108
<b>Глава 5</b>	<b>НАДЕЖНОСТЬ АДАПТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭИС</b> .....	110
5.1	Понятие адаптивности систем .....	110
5.2	Классификация адаптивных свойств .....	111
5.3	Интегральная оценка адаптивности .....	112

5.4	Методика оценки надежности адаптивной составляющей	118
5.5	Автоматизация оценки надежности адаптивной составляющей	121

<b>СПИСОК</b>	<b>ЛИТЕРАТУРЫ</b>	124
---------------	-------------------	-----